F 3835

ISSN 0395—7217

Juin 1987
Trimestriel

fascicule 2

BULLETIN D'ÉCOLOGIE

Publié avec l'aide financière du Conseil Régional de Provence Côte d'Azur

BIBL. DU MUSEUM PARIS

Tome 18

SOCIÉTÉ D'ÉCOLOGIE

(reconnue d'utilité publique par décret du 31 mars 1976)

Bureau pour l'année 1986 :

Président : M. LAMOTTE, Laboratoire de Zoologie, Ecole Normale Supérieure, 46, rue d'Ulm, 75231 Paris Cedex 05.

Vice-Présidents : Z. MASSOUD, Laboratoire d'Écologie Générale, Museum National d'Histoire Naturelle, 4, avenue du Petit Château, 91800 BRUNOY.

P. LOSSAINT, CNRS, CEPE Louis Emberger, route de Mende, B.P. 5051, 34033 Montpellier Cedex.

Présidents honoraires : G. LEMEE, P. GRISON, J.A. RIOUX, CL. DELAMARE-DEBOUTTEVILLE, P. PESSON, G. RICOU.

Secrétaire Général : P. BLANDIN, Laboratoire de Zoologie, Ecole Normale Supérieure, 46, rue d'Ulm, 75230 Paris Cedex 05.

Secrétaire Générale adjoint : Mme C. JEANSON, Laboratoire d'Écologie Générale, 4, avenue du Petit Château, 91800 BRUNOY.

Trésorier : F. DE BEAUFORT, Secrétariat Faune-Flore, 57, rue Cuvier, 75231 Paris Cedex 05.

Trésorier adjoint : R. GUYETANT, Laboratoire d'Écologie Animale, Faculté des Sciences, La Bouloie, 25030 Besançon Cedex.

Bulletin d'Écologie :

Directeur de la Publication : Secrétaire Général

Fabrication du Bulletin : R. DAJOZ, Laboratoire d'Écologie Générale, 4, avenue du Petit Château, 91800 BRUNOY.

Conseil pour l'année 1986 :

BARBAULT R., Laboratoire de Zoologie, École Normale Supérieure, 46, rue d'Ulm, 75230 Paris Cedex 05.

de BEAUFORT F. (adresse ci-dessus).

BELLAN G., Station Marine d'Endoume, CNRS, rue Batteries des Lions, 13007 Marseille.

BLANDIN P. (adresse ci-dessus).

BOUDOURESQUE C., Laboratoire de Biologie Végétale, UER des Sciences de la Mer et de L'Environnement, Luminy — 70, route de Léon Lachamp, 13288 Marseille Cedex 2.

BOURNAUD M., Département de Biologie Animale et Écologie, Université Claude Bernard, 43, boulevard du 11 Novembre 1918, 69622 Villeurbanne Cedex.

CARBIENER R., Botanique et Cryptogamie, UER des Sciences Pharmaceutiques, Université Louis Pasteur, B.P. 10, 67048 Strasbourg Cedex.

CORRE J.J., Laboratoire de Systématique et de Géobotanique méditerranéennes, Institut de Botanique, 163, rue Auguste Broussonnet, 34060 Montpellier Cedex.

DELPECH R., 1, rue Henriette, 92140 Clamart.

ELKAIM B., Laboratoire d'Hydrobiologie, 12, rue Cuvier, 75005 PARIS.

EUZET L., Laboratoire de Parasitologie Comparée, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, place Eugène Bataillon, 34060 Montpellier Cedex.

GILOT B., Laboratoire de Biologie Végétale, Université Scientifique et Médicale de Grenoble, B.P. 53, 38041 Grenoble Cedex.

GIRARD C., Botanique-Ecologie Végétale, Institut National Agronomique, 78850 Thiverval-Grignon.

GRENOT C., Laboratoire de Zoologie, Ecole Normale Supérieure, 46, rue d'Ulm, 75230 Paris Cedex

GUYETANT R. (adresse ci-dessus).

JEANSON C. (adresse ci-dessus).

LAMOTTE M. (adresse ci-dessus).

LEBRETON P., Département de Biologie Végétale, Laboratoire de Phytochimie (Systématique et Écologie), Université Claude Bernard, 43, boulevard du 11 Novembre 1918, 69622 Villeurbanne Cedex.

LEGAY J.M., Département de Biologie Générale et Appliquée, Laboratoire de Biométrie, Université Claude Bernard, 43, boulevard du 11 Novembre, 69622 Villeurbanne Cedex.

LEVIEUX J., Station de Zoologie Forestière de l'INRA, Ardon, 45160 Olivet.

LOSSAINT P. (adresse ci-dessus).

MASSOUD Z. (adresse ci-dessus).

PERTHUISOT J.P., Laboratoire de Biogéologie et de Biostratigraphie ; Institut des Sciences de la Nature, Université de Nantes, 2, rue de la Boussinière, 44072 Nantes.

RAPP M., CEPE Louis Emberger, route de Mende, B.P. 5051, 34033 Montpellier cedex.

TESTARD P., Laboratoire de Zoologie, Ecole Normale Supérieure, 46, rue d'Ulm, 75230 Paris Cedex 05.

TOUFFET J., Laboratoire d'Écologie Végétale, Complexe scientifique de Beaulieu, 35042 Rennes Cedex.

Juin 1987
Trimestriel

fascicule 2

BULLETIN D'ÉCOLOGIE

SOCIÉTÉ D'ÉCOLOGIE
Reconnue d'utilité publique par décret du 31 mars 1976

SECRÉTARIAT GÉNÉRAL
C/O Secrétariat «Faune Flore»
57, rue Cuvier, 75231 PARIS Cedex 05
Tél. 336.54.32

Fascicule publié avec l'aide financière du Conseil Régional de Provence Côte d'Azur

Tome 18

Bibliothèque Centrale Muséum
3 3001 00041544 7

Juin 1987
Trimestriel

fascicule 2

BULLETIN D'ÉCOLOGIE

SOCIÉTÉ D'ÉCOLOGIE
Reconnue d'utilité publique par décret du 21 mai 1975

SECRÉTARIAT GÉNÉRAL
C/O Secrétariat Faune Flore
57, rue Cuvier, 75231 PARIS Cedex 05
Tél. 329.64.32

Fascicule publié avec l'aide financière du Conseil Régional de Provence Côte d'Azur

Tome 18

R 3835

SOCIÉTÉ D'ÉCOLOGIE SOCIETA' ITALIANA DI ECOLGIA

COLLOQUE INTERNATIONAL

ÉCOLOGIE LITTORALE MÉDITERRANÉENNE

«Mieux connaître pour mieux gérer»

MARSEILLE-LUMINY, 5-8 juin 1986

organisé par

Gérard **BELLAN**

Centre d'Océanologie de Marseille
(Station marine d'Endoume-Luminy)

avec le concours de

Faculté des Sciences de Marseille-Luminy

BIBLIOTHÈQUE MUSEUM PARIS

SOCIÉTÉ D'ÉCOLOGIE SOCIETA' ITALIANA DI ECOLOGIA

COLLOQUE INTERNATIONAL

ÉCOLOGIE LITTORALE MÉDITERRANÉENNE

«Mieux connaître pour mieux gérer»

MARSEILLE-LUMINY, 6-9 juin 1989

organisé par

Gérard BELLAN

Centre d'Océanologie de Marseille
(Station marine d'Endoume-Luminy)

avec le concours de

Faculté des Sciences de Marseille-Luminy

BULLETIN D'ÉCOLOGIE

— *Tome 18 - N° 2* — Juin —

SOMMAIRE

ACTES DU COLLOQUE INTERNATIONAL «ÉCOLOGIE LITTORALE MÉDITERRANÉENNE»

Marseille, 5-8 juin 1986

Allocutions d'ouverture des Professeurs P. PESSON et O. RAVERA 99

CONFÉRENCES GÉNÉRALES

J.M. PÉRÈS. — Aspects fondamentaux de l'écologie littorale méditerranéenne de l'embouchure du Rhône jusqu'au méridien 5°30' Est 105

O. RAVERA. — Aspects appliqués et internationaux de l'écologie littorale méditerranéenne 115

THÈME I — LES GRANDS DELTAS : L'IMPACT DES GRANDS FLEUVES

M. LEVEAU et B. COSTE. — Impacts des apports rhodaniens sur le milieu pélagique du Golfe du Lion 119

R. ARFI. — Hydrologie et charge nutritive à l'embouchure du Rhône (saison froide) 123

M. EL-HABR et H.L. GOLTERMAN. — Le phosphate du Rhône et son déchargement dans le Golfe du Lion 131

M. SPECCHI e S. FONDA UMANI. — Influenza del Po sul sistema pelagico dell'Adriatico 135

M. LEVEAU et M. SPECCHI. — Rapport sur le thème I 145

THÈME II — LES LAGUNES MÉDITERRANÉENNES

G.-C. CARRADA, V.U. CECCHERELLI et I. FERRARI. — Les lagunes italiennes 149

J.P. PERTHUISOT et O. GUELORGET. — Les milieux paraliques : diversité et unité 159

G.-F. FRISONI. — L'influence du bassin versant sur le fonctionnement des lagunes méditerranéennes. Concepts d'eutrophisation et de confinement. Exemple d'application : l'étang de Santa Giulia (Corse) 169

F. LUMARE. — Il ripopolamento a Penedi degli ambienti salmastri : un contributo alla loro gestione produttiva in Italia 177

G. CARRADA, I. FERRARI, O. GUELORGET, F. LUMARE et J.P. PERTHUISOT. — Rapport sur le thème II 185

THÈME III — LA FRANGE DE CONTACT ENTRE LA TERRE ET LA MER

J. M. GEHU, E. BIONDI, M. COSTA et J. GEHU-FRANCK. — Les systèmes végétaux des contacts sédimentaires terre/mer (dunes et vases salées) de l'Europe méditerranéenne 189

J.J. CORRE. — Les peuplements végétaux et la gestion des côtes basses du Golfe du Lion 201

L. BIGOT, J. PICARD et M.L. ROMAN. — Conséquences pour les milieux naturels des interventions humaines sur le littoral sableux du delta du Rhône 209

R. GELLINI, F. PANTANI, P. GROSSONI et F. BUSSOTTI. — L'influence de la pollution marine sur la végétation côtière italienne 213

BIBLIOTHÈQUE MUSÉUM PARIS

L. BIGOT, P. GROSSONI et R. GELLINI. — Rapport sur le thème II 221

THÈME IV — LES TRANSFERTS LITTORAUX EN MÉDITERRANÉE

A. MONACO. — Transferts littoraux en Méditerranée 225
G. OREL, R. MAROCCO, E. VIO, D. DEL PIERO et G. DELLA SETA. — Sedimenti e biocenosi bentoniche tra la foce del Po ed il golfo di Trieste 229
A. MONACO et G. OREL. — Rapport sur le thème IV 243

RÉSUMÉS DES COMMUNICATIONS PAR AFFICHAGE 245
G. BELLAN. — Synthèse générale sur le Colloque 253

Analyses d'ouvrage 255
Vie de la Société 259

CONTENTS

INTERNATIONAL COLLOQUIUM «MEDITERRANEAN LITTORAL ECOLOGY»

Opening Allocutions by Professors P. PESSON and O. RAVERA 99

GENERAL CONFERENCES

J.M. PERES. — Fundamental aspects of Mediterranean littoral ecology between the Rhône River mouth and the 5°30' East Meridian 105
O. RAVERA. — International and applied aspects of Mediterranean littoral ecology 115

SESSION I — THE LARGE DELTAS : EFFECTS OF THE MAJOR RIVERS

M. LEVEAU and B. COSTE. — The effects of the Rhône River inputs on the pelagic ecosystem in the Gulf of Lions 119
R. ARFI. — Hydrology and nutrient load in the Rhône mouth (cold season) 123
H. EL-HABR and H.L. GOLTERMAN. — The phosphate in the Rhône River and its input in the Gulf of Lions 131
M. SPECCHI and S. FONDA UMANI. — The influence of the Po River on the pelagic system of the Adriatic Sea 135
M. LEVEAU and M. SPECCHI. — Report on the First Session 145

SESSION II — MEDITERRANEAN LAGOONS

G.-C. CARRADA, V.U. CECCHERELLI and I. FERRARI. — Italian lagoons 149
J.P. PERTHUISOT and O. GUELORGET. — The paralic middles : their diversity and unity 159
G.-F. FRISONI. — Water catchment area influence on mediterranean lagoons. Eutrophication and confinement concepts. Application on Santa Guilia lagoon (Corsica) 169
F. LUMARE. — Realising Penaeid shrimps in lagoons : a contribution to their production management in Italia 177
G.-C. CARRADA, I. FERRARI, O. GUELORGET, F. LUMARE and J.P. PERTHUISOT. — Report on the Second Session 185

SESSION II — THE LAND-SEA CONTACT

J.M. GEHU, E. BIONDI, M. COSTA and J. GEHU-FRANCK. — The systems of vegetation of the sedimentary contacts Land/Sea (sand-dunes and salt marshes) of Mediterranean Europe 189

J.J. CORRE. — Plant communities and management along the Golfe du Lion low sea-shore 201

L. BIGOT, J. PICARD and M.L. ROMAN. — Consequences of human interventions on natural sand areas of the sea-shore in the Rhône Delta 209

R. GELLINI, F. PANTANI, P. GROSSONI and R. GELLINI. — Effects of sea pollution on coastal vegetation of Italy 213

L. BIGOT, P. GROSSONI and R. GELLINI. — Report on the Third Session 221

SESSION IV — LITTORAL TRANSFERS IN THE MEDITERRANEAN SEA

A. MONACO. — Littoral transfers in the Mediterranean Sea 225

G. OREL, R. MAROCCO, E. VIO, D. DEL PIERO and G. DELLA SETA. — Sediments and benthic biocenoses between Po River Delta and the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea) 229

A. MONACO and G. OREL. — A synopsis of the fourth theme. Littoral Mediterranean transfers 243

POSTER SESSION : SUMMARIES 245

G. BELLAN. — General synthesis on the Colloquium 253

Book review 255

Activity of the french ecological Society 259

Avis important

Le renouvellement du Conseil de la Société d'Écologie doit avoir lieu lors de l'Assemblée générale du mois de janvier 1988. Nous vous invitons dès maintenant à faire acte de candidature. Il y a dix membres à renouveler.

Adressez votre candidature avant le mois de novembre au Secrétaire Général.

Paul **PESSON**
Président Honoraire de la Société d'Écologie

Mesdames, Messieurs,
Mes chers Collègues,

Vous le savez, le Colloque que nous tenons aujourd'hui à Marseille résulte d'une précédente rencontre franco-italienne à Padoue en juin 1984, où l'Unione Zoologica Italiana tenait sa réunion annuelle et avait invité la Société Zoologique de France à se joindre à elle. Simultanément la Societa' Italiana di Ecologia (S.IT.E.), comptant parmi ses membres de nombreux zoologistes, y tenait son second congrès national. C'est alors que le Professeur Moroni, Président de la S.IT.E., faisait part à notre collègue Gérard Bellan de son souhait de voir se développer les liens scientifiques et amicaux entre nos deux Sociétés d'Écologie, et, pourquoi pas, en organisant par exemple un colloque commun.

Notre Société d'Écologie, dont j'étais alors Président, acquiesçait d'enthousiasme à cette suggestion, et, dans son conseil de novembre 1984, chargeait G. Bellan d'être notre porte-parole pour la suite à donner à ce projet, cependant que la S.IT.E. confiait ce même rôle au Professeur Ravera, d'ailleurs chargé au sein de la Société-soeur des rapports avec les autres pays européens.

Lors de la rencontre entre zoologistes et écologistes italiens et français à Padoue, mon collègue le Professeur Lamotte était alors Président de la Société Zoologique de France. Depuis janvier 1986, il m'a succédé comme Président de la Société d'Ecologie, et il eut été particulièrement heureux de vous accueillir aujourd'hui. Mais un programme de mission au Vénézuela l'a privé de ce plaisir et, en son nom, je dois vous exprimer tous ses regrets.

Président honoraire de la Société d'Écologie, ayant participé à l'élaboration de ce Colloque, j'ai donc aujourd'hui l'honneur et le plaisir d'accueillir ici nos collègues italiens, leur adressant, ainsi qu'à l'ensemble des participants, le message de cordiale bienvenue et d'amitié de notre Société d'Écologie. Je prie Monsieur le Professeur Ravera d'exprimer à Monsieur le Professeur Montalenti, Président de la S.IT.E., dont nous regrettons l'absence, nos très confraternels messages.

Qu'il me soit permis de remercier chaleureusement nos collègues italiens promoteurs de ce Colloque, le Professeur Moroni et le Professeur Ravera, et d'associer très cordialement à ces remerciements particuliers notre collègue marseillais Gérard Bellan, l'organisateur actif et dévoué de ces journées. A cette occasion je ne saurais oublier Mesdames Catherine Froget et Michèle Gallas, qui assurent avec tant de gentillesse et d'efficacité le Secrétariat du Colloque.

La Société d'Écologie tient aussi à exprimer sa reconnaissance aux organismes régionaux ou locaux qui ont aidé à la réalisation de notre programme :

— l'Université d'Aix-Marseille 2, pour le soutien que nous ont apporté Monsieur le Doyen de la Faculté des Sciences de Luminy, le Professeur Mebkout, et Monsieur le Directeur du Centre d'Océanologie de Marseille, le Professeur Blanc ;

— l'Office Régional de la mer, en la personne de son Directeur, Monsieur Cristiani ;

— le Conseil Régional Provence-Alpes-Côte d'Azur, en la personne de son Président, Monsieur Gaudin, et en celle de Monsieur Rivière, Chargé de Mission pour la Recherche et la Mer, qui nous honore de sa présence à l'ouverture de ce Colloque ;

— la Municipalité de Marseille, représentée par Madame Guillen, Déléguée à l'Environnement.

Grâce à l'ensemble de ces aides, contributions ou participations, nous sommes certains que ces journées vous réserveront la constante association de l'agrément et de l'intérêt.

L'intérêt de notre Colloque, dans un instant nos collègues, le Professeur Pérès et le Professeur Ravera vont nous en souligner les points forts, tant sur le plan des recherches fondamentales que sur celui de leurs applications. Est-il nécessaire d'indiquer que le titre même de ce Colloque « Écologie littorale méditerranéenne» est porteur d'une unité d'intérêt pour l'Italie et pour la France, puisque cette Méditerranée est pour nos deux pays un patrimoine commun et une même ressource, dont la protection et l'exploitation requièrent aujourd'hui, de la part de tous ceux qui ont la chance de vivre sur ces remarquables rivages, une attitude plus raisonnée et, parfois, plus raisonnable. Ajoutons que les recherches conduites en France et en Italie sur ce littoral méditerranéen et qui seront présentées au cours de ces journées ont aussi un intérêt pour tous les autres pays méditerranéens. Selon leur situation géographique, la nature géologique de leurs côtes, les particularités climatiques, les orientations dominantes des activités humaines, des problèmes particuliers peuvent se poser. Cependant l'ensemble du domaine méditerranéen conserve certains traits communs, dont l'analyse écologique doit permettre de mieux saisir l'importance. Il va de soi que l'écologie humaine doit avoir un rôle primordial dans cette étude ; d'ailleurs bon nombre d'exposés traiteront des conséquences de certaines activités humaines sur l'évolution du littoral méditerranéen.

N'oublions pas que la Méditerranée a été, au cours des siècles, voire des millénaires, le berceau de nos plus anciennes et plus prestigieuses civilisations.

Est-ce un symbole ? Il y a 400.000 ans, nos très lointains ancêtres, des ***Homo erectus*** *chasseurs, sont revenus saison après saison établir leurs camps sur ces rivages, tout près d'ici, à Nice, à l'embouchure du Paillon. Ils savaient trouver là, en fin de printemps et début d'été, un gibier varié et abondant ainsi que des ressources alimentaires marines appréciées. Le site archéologique qui n'a été découvert qu'en 1961 par l'archéologue marseillais Henri de Lumley, était depuis bien longtemps désigné par les provençaux sous le nom de «Terra amata», qui signifie « Terre bien-aimée».*

Ce colloque n'est sans doute qu'une modeste contribution, mais qui se voudrait exemplaire, en vue d'inciter les hommes à oeuvrer en commun pour protéger, voire restaurer le prestige de ce littoral méditerranéen et lui assurer un avenir digne de son passé. Merci à tous ceux qui se sont ici rassemblés pour travailler dans ce sens.

Oscar **RAVERA**
Departement of Physical and Natural Sciences
Commission of the European Communities - J.R.C.
21020 ISPRA (Varese) Italy

Monsieur le Président,
Mesdames et Messieurs,

Il était prévu dans le programme que les Présidents de la Société d'Écologie Française et de la Société Italienne d'Écologie présentent ce colloque.

Le Président de la S.I.T.E., le Professeur Giuseppe Montalenti, prie les organisateurs et les participants d'accepter ses excuses pour sa non participation à cette réunion à cause d'engagements pris précédemment et souhaite un succès complet à ce colloque.

J'ai l'honneur de remplacer dans cette fonction le Professeur G. Montalenti, bien que n'en ayant ni l'expérience ni l'autorité.

Les intentions des organisateurs de ce colloque étaient de réunir dans une collaboration réelle des écologistes français et italiens pour traiter divers aspects de l'écologie du littoral méditerranéen. Afin de ne pas élargir excessivement le thème et d'éviter d'illustrer des aspects relatifs à la pollution, ce qui a été traité plusieurs fois dans des rencontres nationales et internationales, il est préférable de concentrer le colloque sur l'importance des facteurs naturels et sur les relations entre les écosystèmes terrestres et littoraux.

L'écosystème littoral peut être considéré comme un système de transition où il est difficile de tracer des limites entre le système terrestre (les eaux douces incluses) et le système marin : les lagunes, les lacs côtiers, les marécages (marais) saumâtres et les deltas en sont les exemples le plus évidents. Dans les exposés qui seront présentés, mais surtout pendant la discussion, il est souhaitable que cette caractéristique du système littoral soit mise en évidence. Si l'influence de l'écosystème terrestre sur ce littoral est bien connue, celle de la mer sur l'écosystème terrestre n'est certainement pas négligeable ; il suffit de penser, par exemple, à l'action de la mer sur la végétation méditerranéenne. Bourdeau and Treshow (1978) (1) citent la dévastation de la végétation côtière d'une aire près de Sidney (Australie) due aux détergents présents dans les eaux littorales comme unique cas certifié de l'effet de la pollution marine sur la végétation terrestre à travers l'air. Ceci démontre l'opportunité d'inclure dans le programme un exposé sur ce sujet même si cela concerne des problèmes de pollution. Je remercie la Société Française d'Écologie pour avoir favorisé ce colloque et également l'Université de Marseille (Luminy) pour la gentille hospitalité qu'elle nous a généreusement offerte. Je tiens particulièrement à remercier le Professeur Bellan pour sa très efficace et amicale collaboration et pour l'organisation aussi bien scientifique que pratique du colloque. Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance aux rapporteurs français et italiens et à tous les participants qui ont compris l'esprit de cette réunion qui, selon l'intention des organisateurs, devrait représenter le début d'une réelle collaboration entre les écologistes de nos deux pays.

(1) BOURDEAU (P.) and TRESHOW (M.), 1978. — Ecosystem response to pollution, Ch. 15 in *Principles of ecotoxicology*, Scope 12, (Butler, G.C. Ed.). J. Wiley & Sons, Chichester, pp. 315-338.

CONFÉRENCES GÉNÉRALES

ASPECTS FONDAMENTAUX DE L'ÉCOLOGIE LITTORALE MÉDITERRANÉENNE DE L'EMBOUCHURE DU RHÔNE JUSQU'AU MÉRIDIEN 5°30' EST

par Jean-Marie PERES

Station Marine d'Endoume — 13007 MARSEILLE

MOTS-CLÉS : Méditerranée - Littoral - Hydrologie - Rejets urbains - Eutrophisation.

RÉSUMÉ
(Travail original)

Les caractéristiques écologiques du proche littoral situé entre l'embouchure du Rhône et 5°30 Est sont analysées en tenant compte du contexte climatique, hydrologique et de circulation des eaux, ainsi que des apports exogènes au domaine marin. Ceux d'origine industrielle, dominants dans le secteur occidental, ont subi entre 1972 et 1980 un abattement de l'ordre de 90 p. 100. En ce qui concerne l'influence des rejets domestiques dits «sauvages», ils ont été, naguère, une source d'eutrophie intense du Golfe de Marseille, encore que très localisée à certaines portions du proche littoral. L'extension, à partir de 1960, du réseau municipal d'assainissement a fait revenir graduellement la rade sud du Golfe à une forte oligotrophie, en même temps qu'un envasement accéléré se développait. La configuration — et le relatif pouvoir de rétention — du bassin de réception n'a permis le retour à une eutrophie de divers fonds du Golfe de Marseille que lorsqu'une partie de l'eutrophisation issue du grand émissaire d'eau usées s'y est transmise par l'intermédiaire de la grande dérive ligure-provençale.

KEY-WORDS : Mediterranean Sea - Littoral - Hydrology - Urban-wastes - Eutrophication.

SUMMARY
(Original scientific paper)

Fundamental aspects of Mediterranean littoral ecology between the Rhône River mouth and the 5°30' East Meridian

The major features of the inshore areas of the Rhone mouth were analysed to 5°30' East taking into account the climatic, hydrological and current system parameters within the local context, as well as the exogenous inputs to the marine environment. Pollution by industrial wastes, which predominated in the most western area, were significantly abated to 90 % of the 1972 reference level. As regards the influence of domestic wastes, the sanitation network, until 1960, only concerned the down-town districts and many unauthorized throwing out took place along the shoreline itself and into small coastal brooks, that resulted in some eutrophication of the most inshore waters, especially in the south gulf. Following the progressive development of this network from 1960 to 1982, the effluent from the Marseille conurbation domestic wastes throws to sea through two outlet openings outside the gulf itself, within a natural reception basin. The peculiar topography of this basin, long ago conferred in some capacity of retention of this eutrophic potential. Nevertheless, recently, a part of this eutrophic potential enriched the waters of the Liguro-provençal drift.

INTRODUCTION

Il m'est revenu, au moment où je préparais le texte introductif qui m'avait été demandé pour l'ouverture du colloque franco-italien d'Écologie littorale méditerranéenne, que cette réunion serait principalement dévolue à l'étude de la zone de contact entre la terre et la mer et plus particulièrement à l'espace compris entre + 5 m et - 5 m par rapport au niveau moyen de la mer.

En fait, sans méconnaître l'intérêt de cette restriction du terme «littoral» (assez analogue à l'«inshore» des auteurs anglo-saxons), elle me semble assez artificielle. Néanmoins, parlons donc de ce «littoral», mais en tenant compte, comme on devrait toujours le faire, des aspects si divers de ses interfaces : eau douce - eau de mer, océan - atmosphère, colonne d'eau - fond.

La vie marine littorale dépend, au premier chef, aussi bien sur les côtes italiennes que sur celles de France, essentiellement des apports de sels minéraux nutritifs parvenant à la mer par les deux grands fleuves que sont le Rhône et le Po, et donc d'une production primaire nouvelle, à laquelle viendra s'adjoindre la production primaire de régénération. Pour ma part, on me pardonnera de choisir de parler du Rhône et du rôle qu'il joue dans la fertilité des eaux les plus littorales, ne serait-ce que parce que ce thème de recherche a été une des préoccupations majeures du Centre Océanologique de Marseille depuis près de quarante années. En fait, notre objectif était beaucoup plus ambitieux qu'une simple étude de l'influence des apports du Rhône car je savais, dès 1950, qu'un plan d'aménagement concerté de tout le secteur côtier compris entre l'embouchure du Rhône et l'agglomération marseillaise allait être mis en exécution et prendrait en compte aussi bien les problèmes d'urbanisation que de développement et de diversification des activités industrielles. C'était une occasion de tenter d'évaluer à assez long terme (trente-cinq ans environ) l'impact de ces aménagements sur la vie marine du plus proche littoral et aussi d'intervenir, quand j'en avais la possibilité, pour infléchir certaines décisions.

Dans la présente synthèse, j'ai pris en compte les apports exogènes — et leurs fluctuations — qui sont intervenus dans l'évolution de l'environnement le plus littoral depuis l'embouchure du Rhône jusqu'au méridien 5°30 Est, à savoir :

— les apports du Rhône (fleuve aujourd'hui totalement aménagé) en sels minéraux, en particules minérales et d'une manière plus générale en matériel de suspension (MES) ;
—un étang saumâtre, celui de Berre (15.500 ha) (profondément modifié depuis 1966 par un canal y amenant une partie des eaux de la Durance) ; — une importante zone industrielle dont les activités ont été en se diversifiant au fil des années et qui a affecté principalement la partie occidentale du secteur côtier ici prise comme exemple ; — enfin, un grand émissaire d'eaux usées, celui de l'agglomération marseillaise, à son extrémité orientale

Par ailleurs — et surtout — si l'étude des peuplements pélagiques a été longtemps trop négligée dans la région marseillaise, en revanche le panorama de bionomie benthique établi par MARION (1883) représentait un terme de référence tout à fait exceptionnel pour en tirer des comparaisons avec la situation actuelle.

LE CONTEXTE HYDROLOGIQUE ET RHÉOLOGIQUE

Depuis la Riviera di Ponente en passant par la Côte d'Azur française et la côte de Provence jusqu'à l'embouchure du Rhône, les caractéristiques hydrologiques et de circulation des eaux les plus littorales sont plus ou moins indirectement influencées — et ce, en fonction des sinuosités de la ligne de rivage — par la grande dérive cyclonique liguro-provençale dont les eaux les plus proches du rivage coulent au rebord du plateau continental. Depuis Gênes, son flux s'écoule du nord-est vers le sud-ouest, puis s'infléchit à partir des îles d'Hyères (vers 6°20' Est) pour se diriger de l'est-sud-est vers l'ouest-nord-ouest, c'est-à-dire vers l'embouchure du Rhône. Ses eaux sont fortement oligotrophes. A chaque identation suffisamment marquée de la ligne de rivage, un petit circuit anticyclonique, issu de l'extrême marge nord de la dérive, prend naissance à partir du cap délimitant la baie à l'ouest et parcourt celle-ci ; ses eaux, peu à peu déviées par la force de Coriolis, finissent par se refondre dans la dérive liguro-provençale. L'ensemble des deux derniers golfes que la dérive d'est en ouest rencontre sur son chemin, à savoir le Golfe de Marseille et le Golfe de Fos-sur-Mer, représente l'indentation la plus marquée, d'où le système de circulation assez complexe qui affecte les eaux côtières du secteur ici étudié et sur lequel je reviendrai plus loin.

Le front correspondant à l'affrontement de la dérive liguro-provençale et de l'apport du Rhône est caractérisé —de par le contour de la ligne de rivage — par un partage inégal du flux rhodanien : l'essentiel de ce flux se dirige vers le Golfe du Lion, mais 1/5 environ du flux total génère un contre-courant côtier portant à l'est, qui atteint au moins la limite sud du Golfe de Marseille. Naguère, ce contre-courant s'étendait peut-être plus à l'est le long de la côte provençale, au temps où le cours du Rhône n'était pas encore aménagé. Le débit lors des grandes crues pouvait atteindre 12000 $m^3.sec^{-1}$, alors qu'actuellement il est au maximum de 4000 $m^3.sec^{-1}$ et se situe plutôt entre 1500 et 2500 $m^3.sec^{-1}$ (minimum environ : 700 $m^3.sec^{-1}$).

L'ensemble de la rhéologie du secteur côtier compris entre l'embouchure du Rhône et 5°30' Est, que j'ai pris comme exemple, est conditionné par une alternance de régimes de vents dominants, l'un de nord-nord ouest, l'autre d'est-sud est. Le premier peut engendrer, quand il est suffisamment fort, de petits upwellings côtiers (MILLOT, 1979) localisés, par un effet de chasse vers le sud des eaux côtières superficielles, surtout lorsque le relief proche du rivage est plus escarpé ; il est compensé par un afflux d'eau de subsurface, sinon même d'eau intermédiaire, quand les vents du secteur nord sont particulièrement forts. L'autre régime de vent dominant (est sud-est) tendra évidemment à «plaquer» au plus près du rivage les eaux les plus côtières. Sur cette alternance assez générale entre deux régimes de vent vient se greffer le système des brises, surtout sensible en été. Par mer relativement calme, le phytoplancton superficiel et ultrasuperficiel est généralement distribué en «patches», engendrées par des phénomènes de microturbulence. Si la mer est tout-à-fait calme, peuvent alors apparaître des «slicks», riches en matière organique vivante (bactéries, dinoflagellés, etc...) et souvent aussi en altéragènes. Lorsque la brise de mer s'établit — vers le milieu de la journée solaire — «patches» et «slicks» commencent à dériver vers le rivage et y finissent, tôt ou tard, en fonction de l'intensité du régime des brises. Finalement, tout le matériel organique qu'ils représentaient sera dégradé par les bactéries hétérotrophes, avec des particules d'origine continentale charriées par l'atmosphère et formant l'écume.

Ainsi, le secteur côtier dont j'ai essayé de vous exposer les caractéristiques principales apparaît-il comme bénéficiant d'une certaine eutrophie — sans doute moindre que naguère — grâce aux apports du Rhône, mais frappé d'une extrême instabilité par l'irrégularité du régime des vents, d'où de fortes variations de la production primaire et des populations phytoplanctoniques, très préjudiciables à un équilibre harmonieux de l'écosystème planctonique et de son réseau trophique dans le sens d'une augmentation de sa maturité, ce qui bien entendu influencera le domaine benthique.

LE PROCHE LITTORAL ET SES MILIEUX EXTRÊMES NATURELS

Après cette brève description du cadre topographique et physique du secteur que j'ai choisi comme exemple, revenons jusqu'à l'embouchure du Rhône pour essayer de comprendre son évolution écologique dans le temps, au cours du siècle écoulé jusqu'à aujourd'hui (depuis la carte de MARION, 1883) et ce, en fonction des activités que l'homme y a déployées. En fait, ceci revient à délimiter les «milieux extrêmes» présents dans le secteur étudié puisqu'ils sont peut-être la préoccupation profonde — encore que non exprimée — des organisateurs de ce colloque, que ces milieux extrêmes soient naturels ou au contraire imputables à la dégradation de l'environnement marin par les activités humaines.

En ce qui concerne l'interface terre-mer, l'étude la plus achevée est certainement celle de BIGOT *et al.* (1982, 1984) qui résume la situation des peuplements d'invertébrés de substrats meubles des plages et dunes du delta du Rhône couvrant les étages adlittoral, supralittoral, médiolittoral et infralittoral du domaine benthique. Ces biotopes sont caractérisés par d'incessantes modifications des facteurs abiotiques (action des vents, rhéologie côtière, agitation de la mer, température, hygrométrie) des substrats émergés et par des apports exogènes de matières organiques (dont l'«écume» représente un cas un peu particulier). Le peuplement d'invertébrés ne comporte que des espèces très mobiles qui s'accommodent parfaitement de fréquents transports passifs dans l'un ou l'autre fluide : air, eau. Ces espèces échappent donc aisément aux excès prolongés d'intensité d'un facteur du milieu, en colonisant temporairement des espaces «refuges». En conséquence, les limites des peuplements caractéristiques subissent des oscillations verticales à très court terme. L'instabilité des facteurs du milieu atteint son apogée entre les étages supralittoral et médiolittoral, ce qui conduit à une

nouvelle définition des domaines terrestre et marin qui est d'autant plus à retenir qu'elle repose sur une analyse approfondie de ces milieux extrêmes naturels que les auteurs ont étendue de la Méditerranée jusqu'aux côtes françaises de l'Atlantique et de la Manche, ainsi qu'à Madagascar et à la Nouvelle-Calédonie.

Ces recherches poursuivies pendant plusieurs années ont montré qu'existe, dans les quatre étages bionomiques qui couvrent l'espace + 5 à - 5 m, un axe de symétrie correspondant à une instabilité extrême séparant les étages adlittoral et supralittoral, d'une part, et, d'autre part, les premiers étages proprement marins : médiolittoral et infralittoral (supérieur évidemment).

Un autre exemple de milieu extrême du proche littoral est celui des concentrations massives de *Noctiluca* (en juin 1984) dont le mécanisme a été récemment élucidé par LABORDE *et al.* (1986) et PERÈS *et al.* (1986). Dans certaines conditions hydrologiques, la population de ce phagotrophe — qui est omnivore et d'une voracité extraordinaire — se multiplie de façon exponentielle et investit totalement les couches les plus superficielles de l'écosystème pélagique. La population de noctiluque tend à former, assez au large (parfois à quelques milles du rivage), des bandes — de quelques mètres de large — plus ou moins parallèles au contour général de la côte où l'abondance des individus confère à l'eau de surface une coloration rouge très frappante. Dans les intervalles entre deux bandes nettement perceptibles, les noctiluques sont présents, mais simplement moins nombreux. Peu à peu, le régime des brises — ou des vents faibles portant à la côte —rapproche peu à peu du rivage ces populations énormes où elles finissent en amas gluants dont la matière organique est dégradée rapidement par les bactéries hétérotrophes, redonnant ainsi les sels minéraux nécessaires à une reprise de la population phytoplanctonique du proche littoral.

L'IMPACT DES REJETS INDUSTRIELS SUR LA VIE MARINE LITTORALE

La caractéristique majeure du secteur côtier que j'ai pris comme exemple est que l'influence des rejets industriels actuels est surtout marquée dans sa partie occidentale. Originellement, ils consistaient — à l'exception d'une poudrerie aujourd'hui fermée — principalement en activités de raffinage et de fabrication de produits issus d'hydrocarbures concentrés dans la zone de Port-de-Bouc et Martigues-Lavera, ainsi que sur les rives de l'étang de Berre. En fait, la profonde altération de la vie marine côtière qui avait été constatée sur toute la rive occidentale du Golfe de Fos n'avait fait l'objet d'aucune mesure sérieuse de prévention. Ce n'est guère qu'à partir de 1970, lorsque les activités de la nouvelle zone portuaire et industrielle ont commencé à s'intensifier et à se diversifier, avec l'apparition, outre le traitement des hydrocarbures et la sidérurgie, d'un début d'industrie chimique, que le Port Autonome de Marseille créa une cellule de lutte contre la pollution industrielle. Après qu'une série d'analyses préliminaires ait révélé que certains polluants atteignaient des teneurs inquiétantes dans les eaux côtières du Golfe de Fos, fut institué un sévère contrôle des effluents. La turbidité était souvent très élevée, avec une DCO (1) pouvant atteindre 20-30 mg.l^{-1}, plus de 60 mg.l^{-1} pour les détergents anioniques, pour certains métaux lourds des teneurs moyennes exprimées en ppm de 2-3 (max. 7,5) pour le mercure, 4-12 (max. 37) pour le plomb, 8-38 pour le zinc, etc.

Pour montrer l'efficacité de ces mesures, je soulignerai que, dès 1980, elle a permis d'obtenir un abattement par rapport à l'année de référence (1972) de 93 % de la DCO, de 90 % pour les M.E.S., 95 % pour les hydrocarbures, 92 % pour les phénols, 90 % pour le mercure, respectivement, ainsi que des apports en divers métaux lourds. L'efficacité de ces mesures a pu être confortée par l'analyse des populations phytoplanctoniques du Golfe de Fos, laquelle était suivie mensuellement depuis 1979 par le RNO (2) : elles ont permis le rétablissement des poussées phytoplanctoniques engendrées par les apports en sels nutritifs du Rhône, ce qui explique, deux semaines environ après, la pullulation des noctiluques à laquelle j'ai fait allusion précédemment. Une poussée phytoplanctonique analogue terminée par une explosion démographique des Noctiluques s'est produit à nouveau et à la même époque en 1986.

Par contre, dans le domaine benthique, l'influence des rejets industriels avec tout ce qui les accompagne (dessalure, matières en suspension, altéragènes, etc...) peut avoir des conséquences durables jusqu'à ce qu'une certaine restauration (jamais jusqu'au *statu quo ante*) puisse intervenir. Par exemple les peuplements benthiques sur substrat rocheux des horizons superficiels de la côte sud-est du Golfe de Fos, étudiés par de nombreux chercheurs de notre Centre depuis plus d'une quinzaine d'années, se répartissent selon un gradient de pollution à dominante industrielle à partir des peuplements d'eau pure de mode battu à *Cystoseira stricta* du Cap Couronne (séparant les deux golfes : Fos à l'ouest et Marseille à l'est) jusqu'au peuplement d'eau très polluée à *Ulva* cf. *rigida* sur les secteurs les plus proches des sources de pollution. D'après la contribution la plus récente consacrée à cette portion de côte, les types de peuplements soumis à diverses pollutions sont instables dans le temps et montrent la classique réduction du nombre des espèces, des eaux pures vers les plus polluées, ce qui «entraîne un déséquilibre au sein des peuplements, se traduisant par la disparition d'un cycle annuel cohérent, les peuplements étant alors dominés par quelques espèces tolérantes à la pollution» (DESROSIERS *et al.*, 1986).

Les analyses effectuées en prenant en compte le régime alimentaire des espèces d'invertébrés réparti dans les groupes trophiques majeurs (suspensivores, détritivores, broûteurs et carnivores) «montent qu'il y a un gradient de déstabilisation à l'intérieur des groupes trophiques depuis les peuplements d'eau relativement propre vers les peuplements d'eau polluée». Ainsi, l'étude «de l'organisation trophique de peuplements benthiques soumis à un gradient de pollution dont on connaît déjà l'évolution structurelle» apporte, en outre, des éléments complémentaires nombreux en ce qui concerne les modalités de disfonctionnement (parfois précoce) «de certaines mailles du réseau trophique au fur et à mesure de l'altération du peuplement» et également en fonction de certains facteurs édaphiques (circulation, teneur en matières en suspension, polluants chimiques, rejets thermiques, etc.) (DESROSIERS *et al.*, 1986).

La réapparition, à partir de 1985, de peuplements denses — et exploités — de l'oursin *Paracentrotus lividus*, qui est une espèce opportuniste, montre à l'évidence une certaine restauration.

(1) DCO : demande chimique en oxygène

(2) RNO : Réseau National d'Observation des Côtes françaises, organisé par l'IFREMER

L'EUTROPHISATION DES EAUX PAR LES EAUX USÉES DOMESTIQUES

Comme j'ai eu déjà l'occasion de le souligner, le Golfe de Marseille est indiscutablement le secteur côtier dont la flore et la faune benthiques sont les plus riches et les plus diversifiées de toute la façade méditerranéenne française (MARION, 1883). J'en ai donné les raisons, à savoir : l'eutrophie engendrée par le Rhône avec, par rapport à la grande dérive cyclonique, la présence de deux circuits anticycloniques correspondant au contour particulier du rivage, ainsi que de l'instabilité élevée des eaux les plus littorales.

Il y a un siècle, c'est seulement dans l'auréole — en fait assez localisée — correspondant à la sortie du Vieux-Port (qui recevait, à l'époque plusieurs égoûts) que MARION avait relevé des fonds couverts d'une boue putride. Les petits ruisseaux côtiers (ruisseau des Aygalades, l'Huveaune et son affluent, le Jarret) recevaient une partie des eaux usées domestiques tandis que les quartiers le plus proches du rivage les déversaient directement à la mer. Cette pratique entretenait une eutrophie certaine des eaux les plus littorales du Golfe de Marseille, d'où la prospérité des activités de pêche artisanale. Cette situation correspond au troisième modèle de perturbation éco-biologique des zones soumises à des apports de matières organiques provenant de sources faibles, mais multiples, retenu par BELLAN *et al.* (1980).

Les conditions d'hygiène dans lesquelles vivait la population marseillaise qui s'était beaucoup accrue avec la mise en chantier des nouveaux ports — laissaient fortement à désirer, ce qui conduisit la Ville de Marseille à mettre en chantier, dans la dernière décenne du XIXe siècle, un réseau d'égoûts destinés à assainir les quartiers du centre de la ville en rejetant les eaux usées domestiques dans un collecteur débouchant dans la calanque de Cortiou, à 6 km du Cap Croisette, donc en dehors du Golfe de Marseille même. J'y reviendrai plus loin. Après la fin de la deuxième guerre mondiale, les activités portuaires et industrielles de Marseille se sont brusquement étendues, engendrant une augmentation rapide de la population et donc de la pollution par les eaux usées domestiques Néanmoins, lorsque je prends la direction de la Station Marine d'Endoume en 1947, les peuplements les plus littoraux paraissent encore relativement prospères — notamment l'herbier à Posidonie qui débutait vers 2,5 à 3 m — malgré une augmentation déjà sensible de la turbidité de l'ensemble des eaux du Golfe de Marseille. Malheureusement, la pêche artisanale, pratiquement arrêtée pendant l'occupation allemande, reprenait alors de façon intensive et devait conduire, en une dizaine d'années, à un début de désertification des fonds les plus proches du rivage, surtout en ce qui concerne les fonds d'herbier et ce, malgré l'interdiction de l'usage du «gangui» prise — d'ailleurs, à mon instigation — par l'Administration des Affaires Maritimes à compter du 1er janvier 1948, mais que cette Administration n'a pas réussi — faute de moyens — à faire respecter par la profession. Néanmoins, un degré d'eutrophie non négligeable existait localement grâce aux rejets sauvages d'eaux usées domestiques, comme le prouvent les relevés d'abondance de l'Oursin comestible *Paracentrotus lividus* (souvent 25 à 35 ind. m^{-2} et parfois plus de 80 ind. m^{-2} ; effectués par KEMPF (1962) dans certains sites favorables à cette espèce qui a l'avantage d'être d'un opportunisme trophique remarquablement étendu (proies végétales et animales, et aussi matières organiques particulaires ou même à l'état dissous). Mais il importe de souligner que les données établies par KEMPF correspondent aux années 1960 et 1961 où les détergents ménagers existaient, mais n'étaient pas encore d'emploi vraiment courant.

En fait, c'est à partir de la décennie 1960-1970 que la conjonction de deux éléments déterminants va faire basculer l'évolution des peuplements benthiques littoraux vers l'état de désertification que nous connaissons aujourd'hui. L'un est le remplacement des savons dans les tâches ménagères par des détergents chimiques — en général utilisés à des doses excessives — et dont nous savons parfaitement maintenant qu'ils sont hautement toxiques pour la vie marine côtière. L'autre est la mise en application, par les services techniques de la Ville de Marseille, en 1959, d'un plan d'assainissement visant à faire disparaître tous les rejets sauvages d'eaux usées domestiques, tant sur la côte même que dans les ruisseaux côtiers, notamment le détournement de l'Huveaune (débit d'étiage de 1 m^3. sec^{-1}. Ce ruisseau côtier, qui débouchait au milieu de la rade sud, a été détourné en été pour assainir la plage du Prado à partir de 1977, puis définitivement à partir de la mise en service, en 1981, du second émissaire de Cortiou.

Si l'on recherche les sources potentielles d'eutrophisation par des eaux usées domestiques, on ne peut les trouver dans la rade nord du Golfe de Marseille, vu que les agglomérations — d'ailleurs peu importantes — n'y existent que dans la partie occidentale ; en outre, à partir du Cap Méjean, le mouvement anticyclonique partant du Cap Couronne tend à ramener graduellement les eaux le plus côtières dans la grande dérive liguro-provençale, comme je l'ai expliqué précédemment. Par conséquent, les espoirs de revoir, à terme, dans le Golfe de Marseille des eaux côtières susceptibles d'entretenir une vie marine assez intense, telle qu'elle existait il y a un siècle, reposent sur les apports en matériel organique du grand émissaire d'eaux usées de l'agglomération marseillaise.

Ce grand émissaire, sis dans la petite crique de Cortiou sur la côte de Marseille-Veyre, se déverse dans un plan d'eau de forme triangulaire entre la côte et un chapelet de quatre îles formant une sorte d'entonnoir ouvert vers le sud-est ; la pente décroissante y est assez régulière depuis 75 m jusqu'à quelques mètres au niveau du goulet entre l'Ile Maire et la côte. Le rejet est effectué en surface, sans traitement préalable, à l'exception d'un désablage et d'un dessablage. Le débit maximal était de 6 m^3. sec^{-1} jusqu'en 1981 ; à ce moment, un deuxième émissaire portant le débit total à 9 m^3. sec^{-1} a été mise en service, correspondant au détournement (cf. plus haut) de l'Huveaune, en même temps que des eaux domestiques et industrielles de cette petite vallée. Exprimée en équivalents-habitants, l'ensemble de cette pollution à la fois domestique et de petites industries doit dépasser 1,5.10^6 e.h. Une station d'épuration par une méthode «physico-chimique» est en cours d'installation.

A partir du rejet, le processus de dilution-dispersion est assez rapide grâce à une branche de la grande dérive qui pénètre dans le bassin de réception où se mélangent l'effluent et l'eau de mer et qui suit la côte en direction de l'Ouest, en même temps que diminue la teneur en altérgènes. Au voisinage du rejet, des phénomènes de précipitation et de floculation interviennent, d'où un afflux massif de matériel en suspension riche en matières organiques qui se dépose plus ou moins rapidement sur le fond. Une partie des suspensoïdes sédimentent au voisinage même du rejet, tandis qu'une autre, au cours de descente vers le fond, est reprise par un contre-courant de subsurface qui la dirige vers l'est-sud-est (ANONYME, 1981).En outre, comme je l'ai mentionné précédemment, par régime de fort vent de nord nord-ouest, la chasse vers le sud des eaux les plus superficielles fait passer entre les îles une partie du panache de pollution de l'émissaire associé à un upwelling côtier localisé (MILLOT, 1979).

En fait, sauf quelques reconnaissances préliminaires effectuées entre 1950 et 1960, nos équipes de chercheurs n'ont porté intérêt à l'aire d'épandage des eaux usées de l'agglomération marseillaise par l'émissaire de Cortiou qu'assez tardivement, quand BELLAN (1967), étudiant les peuplements benthiques, y délimita les trois zones («azoique», «polluée», «sub-normale») concentriques à partir du rejet. Puisque l'objectif de la présente publication est de tenter une nouvelle

FIG. 1 a — Indice d'eutrophie lié au rejet de l'émissaire de Cortiou utilisant la densité (individus.m^{-2}) des populations de *Paracentrotus lividus* — Interprétation d'après les données chiffrées de KEMPF (K) en 1960 et d'HARMELIN *et al.* en 1978-79 — A, B, C, D, E : Stations du R.N.O. effectuées en 1979 et interprétation des paramètres hydrologiques et des teneurs en altéragènes.

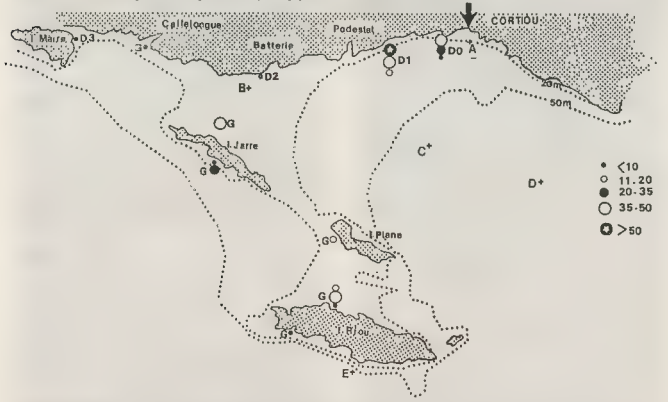


FIG 1 b — Indice d'eutrophie lié au rejet de Cortiou utilisant la densité (individus.m^{-2}) des populations de *Paracentrotus lividus* — Interprétations d'après les données chiffrées recueillies par DELMAS et GRAS en 1985.

approche du potentiel d'eutrophie qu'on pourrait attendre du rejet de Cortiou, j'ai choisi comme indice l'abondance (chiffrée par mètre carré de fond) de l'oursin comestible *Paracentrotus lividus*, dont j'ai déjà souligné l'opportunisme trophique quant aux ressources énergétiques qu'il est capable d'utiliser et qui est commun aussi bien sur les substrats rocheux des horizons superficiels que dans l'herbier à Posidonie.

A partir de 1967, l'évolution dans le temps et dans l'espace du peuplement de ces trois zones a été suivie méticuleusement par les équipes «benthos» de la Station Marine d'Endoume sur tous les substrats aussi bien durs que meubles, en même temps que les peuplements planctoniques étaient étudiés de façon très approfondie par le groupe EPOPEM (1978, 1979 ; ANONYME, 1981) avec la participation de plus d'une vingtaine de chercheurs, de manière à réaliser une étude vraiment intégrée de l'ensemble de l'écosystème soumis au rejet de l'émissaire de Cortiou (cf. synthèse provisoire de la situation en 1980 : PÉRÈS, 1982).

Pour tenter d'apprécier l'influence du rejet de Cortiou sur la vie marine du Golfe de Marseille, j'ai utilisé les données hydrologiques et les teneurs en altérogènes obtenues par le RNO en 5 stations de cette zone en 1979 (A, B, C, D, E, toutes échantillonnées en matinée) c'est-à-dire l'année même où HARMELIN *et al.* (1981) avaient étudié les peuplements d'échinodermes. Les profondeurs extrêmes de prélèvements des stations du RNO sont les suivantes : A, 19-23 m ; B, 7 m ; C, 22 m ; D, 78 m ; E, 76 m (Fig. 1). Par ailleurs, j'ai utilisé les données rhéologiques établies par CASTELBON (1972) pour l'aire de Cortiou et le Golfe de Marseille dans quatre situations relativement bien définies : — vent nul, le 19.06.79 ; — vent d'est sud-est soufflant du 135 le 21.02.79 ; — vent de nord nord-ouest soufflant du 326, le 21.03.79 ; — vent d'ouest soufflant du 270, le 02.05.79. Compte tenu des paramètres qui ont été mesurés par le RNO, j'ai choisi comme indicateur du degré d'eutrophie le carbone particulaire total (COP) exprimé en $\mu g.l^{-1}$ de C.

Par vent nul, la dispersion du COP montre par rapport à la Station A une certaine dissymétrie au bénéfice de la station la plus orientale (St. D) qui est trois fois plus eutrophisée que la Station B. Ceci est dû au fait que les eaux de surface entrées dans le bassin de réception en venant de l'est, viennent buter sur les faibles profondeurs de la Station B (environ 7 m) situées au nord de l'île Jarre, engendrant ainsi un courant de subsurface retournant en direction générale de l'est ; néanmoins, dans les passes séparant les îles, la dispersion en éventail dissymétrique, des teneurs en COP fait qu'une bonne partie de celles-ci (1/6 environ) atteignent la grande dérive, c'est-à-dire à la station E, située à l'extérieur du bassin de réception. Au contraire, par vent soufflant du 135, c'est la station B qui est la plus eutrophisée. Par vent frais soufflant du 326, le proche liseré côtier est abrité du vent, de sorte que le COP tend à sédimenter rapidement au plus près de la station A en direction générale du sud avec un maximum à la station C, tandis que l'eutrophie reste faible à la station E. Enfin, par vent fort soufflant du 270, l'effet de chasse des eaux de surface qui parcourent le bassin de réception déborde plus ou moins dans les passes séparant les îles, de sorte qu'une moitié au moins du potentiel d'eutrophie est encore présent à la station D, ce qui est normal puisque ce vent ne peut que renforcer le contre-courant de subsurface portant à l'est qui est propre à ce plan d'eau, mais aussi à la station E bien qu'elle soit en dehors du bassin ; en fait, même dans ce régime de vent, une partie du potentiel d'eutrophie retournera se fondre dans la dérive liguro-provençale.

Parmi les paramètres de pollution, les détergents anioniques (exprimé en $\mu g.l^{-1}$) méritent une attention particulière car de nombreux travaux, tant de surveillance de leurs teneurs dans les eaux de la région que d'ordre expérimental, ont montré qu'on peut leur imputer la disparition de nombreuses espèces des eaux les plus littorales. En particulier, il est très frappant de constater que, par vent nul, ces détergents sont pratiquement omniprésents dans tout le bassin et à toutes les profondeurs. L'analyse sommaire à laquelle je me suis livré d'après les données du RNO montre une forte tendance à la rétention de ces altéragènes aux stations B, C et D (par rapport à la station A) à peu près dans toutes les situations météorologiques, mais ils restent peu abondants à la station E ; par contre, par vent nul, ils sont omniprésents même à la station E situées en dehors du bassin de réception proprement dit.

Les PCB (polychlorobiphényles) sont localisés pratiquement au voisinage immédiat du rejet (station A) et ne dépassent 25 $ng.l^{-1}$ qu'en deux occasions (vent nul avec 54 $ng.l^{-1}$ et vent du 270 avec 400 $ng.l^{-1}$) ; dans tous les autres cas, leur teneur est inférieure à 10 $ng.l^{-1}$. Il en est à peu près de même des hydrocarbures totaux dont la teneur, dans le bassin de réception même, varie de 2.8 à 9 ppm à la station A, mais qui dans toutes les autres stations, et à toutes les profondeurs, n'atteignant jamais 0,65 ; néanmoins, la station E, qui est en dehors du bassin, peut être affectée par des apports extérieurs à la zone de Cortiou par vent du 326 (1,6 $mg.l^{-1}$) et surtout par vent du 270 (3,5 $mg.l^{-1}$).

En ce qui concerne les métaux lourds, je mettrai à part le mercure dont la teneur est généralement de l'ordre de 0,15 ppm (maximum : une seule fois 0,94 ppm) et le cadmium dont la teneur est la plupart du temps comprise entre 0,5 et 1 ppm (maximum : 1,7). Pour les trois autres métaux lourds (Plomb, Cuivre et Zinc) qui ont été dosés dans la colonne par le RNO on peut attirer l'attention sur deux points : d'une part, ces métaux manifestent, par rapport aux teneurs relevées à la station A, une certaine tendance à se confiner au sein du bassin, surtout aux stations C et D par vent nul et vent du 326, mais aux stations B et C par vent du 135 ; d'autre part, par vent du 270, la rétention est moins marquée et c'est à la station E, située en dehors du bassin, que ces trois métaux sont les plus abondants dans la colonne d'eau, cette particularité tenant sans doute au passage entre les îles d'eaux qui se mélearaient soit à celles de la grande dérive, soit peut-être aux ultimes traces de contre-courant rhodanien de subsurface (?).

La manifestation d'une certaine eutrophisation dans les aires côtières qui reçoivent des rejets massifs d'eaux usées domestiques est souvent difficile à apprécier et supposée plutôt que réellement démontrée. Dans le cas que j'ai choisi d'exposer ici, il m'est venu l'idée d'utiliser l'oursin comestible (*Paracentrotus lividus* Lmk) comme indice d'eutrophie des eaux du Golfe de Marseille dont la désertification est notoire. Le problème à résoudre est de savoir si — ou ou non — l'abondance non négligeable de carbone organique existant dans le bassin de réception du rejet d'eaux usées de l'agglomération marseillaise peut engendrer une certaine eutrophisation des eaux du Golfe de Marseille qui serait profitable aux activités de pêche artisanale actuellement durement frappées et quel est le cheminement de cette eutrophie.

Dans une revue que j'ai consacrée à ce problème d'après les recherches de notre centre, il apparaît que c'est seulement vers 1972-1973 que cette eutrophisation a pu aborder l'extrême sud du Golfe de Marseille (cf. revue in PÉRÈS, 1982) c'est-à-dire le Cap Croisette et l'extrémité occidentale de l'île de Maïre qui ont été envahis par des fonds de décantation. Le goulet entre l'extrémité nord-est de l'île Maïre et le littoral est trop étroit et trop peu profond pour jouer un rôle majeur dans l'eutrophisation de la rade sud comme l'indiquent les faibles densités de *Paracentrotus lividus* relevées par KEMPF (1962) et DELMAS et REGIS (1984, 1985) ; en fait, l'eutrophie passe entre les îles : — surtout entre Maïre et Jarre par vent soufflant du 135 ; — entre Jarre et Plane par vent soufflant du 270 ; — et enfin s'étale largement dans les deux passes les plus orientales pour atteindre la grande dérive jusqu'au sud de l'île Riou par vent nul.

Sans entrer dans le détail des recherches qui ont été effectuées pour évaluer la densité des populations de *Paracentrotus lividus* dans le bassin de réception de Cortiou (KEMPF, 1962 ; HARMELIN *et al.*, 1981 ; DELMAS et RÉGIS, 1984, 1985 ; GRAS, 1985), il me paraît intéressant de faire une première approche couvrant une période de plus de vingt-cinq ans. 1) En 1960-1961, KEMPF (1962), qui a exploré 6 stations à diverses profondeurs, constate que cette densité est très faible (en général 5-8 ind.m^{-2}), c'est-à-dire correspondant à des eaux oligotrophes. 2) En 1978-1979, HARMELIN *et al.* (1981) explorent 6 stations échelonnées le long du rivage depuis un point situé à 500 m du débouché de l'émissaire en direction de l'ouest jusqu'à la calanque de Callelongue, ainsi que sur divers sites des îles et notent que : a) le potentiel d'eutrophie existant au plus près du rejet (500 m) décroît avec les profondeurs croissantes de 3 à 15 m à ; à 1200-1500 m vers l'ouest, la distribution de 2-3 m à 15 m est la même mais le maximum d'abondance est de 78 ind. m^{-2}, puis n'est plus que de 40 ind. m^{-2} entre 2 et 5 m à 2500 m du rejet à mi-chemin du goulet entre le rivage et la pointe nord-est de l'île Maïre. b) Devant Callelongue, l'oursin est encore présent de 2 à 15 m, mais le maximum de densité (35 ind. m^{-2}) est entre 7 et 10 m, ce qui permet de suggérer qu'une certaine eutrophie existant dans les eaux de subsurface pourrait rejoindre la grande dérive, la passe entre Maïre et la pointe nord-est de Jarre étant largement ouverte. c) Les côtes des îles sont baignées par des eaux oligotrophes où la densité de l'oursin n'est que de 2 à 5 ind. m^{-2} de 3 à 23 m. 3) En 1983-1984, DELMAS (1984) qui n'avait échantillonné que les abords immédiats du rivage, ne relève à 500 m du rejet que 28 et 12 ind. m^{-2} à 9 m et 15 m respectivement et à 1200 m 42 ind. m^{-2} à 9 m, ce qui tend à confirmer la descente en subsurface de l'eutrophie ; à 2500 m la densité n'est plus que de 15 ind. m^{-2} et à l'entrée du goulet de 7 ind. m^{-2}. 4) Enfin, GRAS (1985) qui a échantillonné, en 1985, 6 stations, montre que l'eutrophie s'est largement répandue dans le bassin de réception de Cortiou, sur les côtes des îles : 50 ind. m^{-2} sur la côte nord de Jarre entre 9 et 12 m (sur fond d'herbier), 40 ind. m^{-2} à 6 m (sur un éboulis rocheux, mais seulement 6 ind. m^{-2} à 9 m sur l'herbier) sur la côte N de Jarre ; par contre, sur les faces au large de Jarre et de Riou, il ne trouve que 7 ind. m^{-2} et 15 ind. m^{-2}, respectivement. Du même coup, GRAS (1985) conforte les relevés effectués par KEMPF (1962) et DELMAS (en 1983, 1984 et 1985), montrant que l'eutrophie ne peut aborder la rade sud du Golfe de Marseille qu'en contournant l'«entonnoir» de Cortiou et que l'apport eutrophisant passe essentiellement par l'intermédiaire de la dérive ligure-provençale (RÉGIS *et al.*, 1986) (Fig. 2).

Si maintenant l'on compare les relevés de densité des populations de l'oursin comestible qui ont été effectués depuis 1983 dans le Golfe de Marseille, d'une part, et d'autre part, la carte des fonds de ce Golfe, on s'aperçoit que les surfaces où l'oursin comestible a pu se maintenir sont sans doute inférieures au tiers environ de ce qu'elles représentaient il y a un siècle, du fait des empiètements sur le domaine marin par divers aménagements et de l'envasement général des fonds.

Néanmoins, on peut aujourd'hui affirmer qu'une partie au

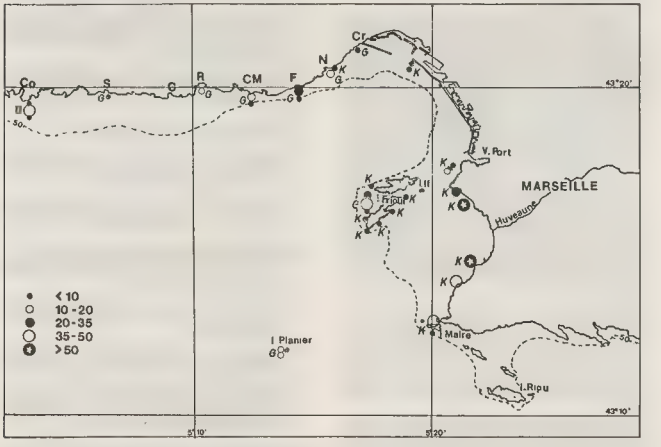


FIG 2. — Densité (individus m^{-2}) des populations de *Paracentrotus lividus* dans le Golfe de Marseille (s s) d'après les données chiffrées recueillies par KEMPF (K) en 1960 et par GRAS (G) en 1985. Co, Cap Couronne ; S, Sausset ; C, Carry ; R, Anse du Rouet ; Cm, Cap Méjean ; F, Figuières ; N, secteur de côte de l'Evelyne à Niolon ; Cr, Corbières ; i. If, Château d'If ; i. Fr., archipel du Frioul ; i.P, île de Planier.

moins du potentiel d'eutrophie disponible dans la portion de la grande dérive liguro-provençale profite aux peuplements d'oursins du Golfe. Je n'en donnerai que deux exemples. Les fonds bordant l'archipel du Frioul étaient pauvres en oursin comestible (1-4 ind. m^{-2} de 1 à 21 m) notamment sur la face au large des deux îles (KEMPF, 1962) et il en était de même lors des prospections d'HARMELIN *et al.* (1981). Or, GRAS (1985) y a relevé 20-25 ind. m^{-2} de 6 à 9 m et 30-40 ind. m^{-2} de 9 à 12 m respectivement ; Le Direach (comm. personnelle) a trouvé des densités de populations comparables dans une autre station, également exposée au large, située un peu plus au nord que celle étudiée par GRAS. Par ailleurs, la station effectuée par GRAS (1985) au Cap Couronne, qui marque la limite du Golfe de Marseille, a fourni des densités de population sur roche de 7 ind. m^{-2} de 3 à 7 m. 45 ind. m^{-2} entre 10 et 15 m, et seulement 4 ind. m^{-2} à 15 m sur fond d'herbier (Fig. 2).

CONCLUSIONS

Ainsi apparaît-il aujourd'hui pratiquement certain que l'eutrophie charriée par la grande dérive est de nature à enrichir quelque peu les eaux et les fonds du Golfe de Marseille et il semble bien que ce soient surtout les eaux du subsurface qui véhiculent ce potentiel d'eutrophie, comme d'ailleurs il en est dans les aires centrales du bassin de réception de Cortiou.

Cet impact sur les peuplements les plus littoraux, qui est fonction de l'hydrodynamisme propre à ce rivage, reste généralement très localisé.

Dans le cas d'un rejet massif comme celui de l'agglomération marseillaise et qui débouche en surface, l'impact exercé sur l'environnement marin — compte tenu de la dynamique locale des eaux — peut avoir de graves conséquences, tant au plan spatial que temporel, sur un secteur côtier beaucoup plus étendu. On admet, à juste titre, que les matières organiques apportées par l'effluent peuvent représenter une source directe d'énergie pour les consommateurs microphages ; mais encore faut-il que cette eutrophie s'oriente vers des fractions du réseau trophique de l'ensemble de l'écosystème débouchant sur des espèces exploitables. Si l'on prend le parti de négliger l'influence des altéragènes les plus nuisibles à la vie marine qui la plupart du temps ne sont abondants qu'au voisinage immédiat du débouché de l'émissaire — et puisque, aussi, la configuration du bassin de réception du plan d'eau de Cortiou lui confère un certain pouvoir de rétention vis-à-vis de ces substances — il m'a semblé qu'on pouvait utiliser comme indice du potentiel d'eutrophie la teneur de l'eau en carbone particulaire total. Les variations temporelles de la densité des populations de l'oursin comestible *Paracentrotus lividus*, utilisé comme «sentinelle» du potentiel d'eutrophie des eaux, montrent que celui-ci se partage actuellement entre le bassin de réception et les eaux de la grande dérive liguro-provençale.

Pour conclure, il me semble que l'exemple que j'ai choisi d'un secteur côtier dont les eaux du proche littoral sont caractérisés par une forte instabilité hydrologique et de circulation, illustre bien l'influence des apports exogènes sur son bios. L'étalement sur environ vingt-cinq années des observations — malgré certaines lacunes — a permis de comparer, dans une certaine mesure, l'influence respective de deux types d'apports exogènes : industriels ou d'eaux usées domestiques.

En ce qui concerne les rejets domestiques par les petits émissaires des communes côtières (jusqu'à 3000 à 5000 habitants de population permanente) de la rade nord du Golfe de Marseille, leur impact sur l'environnement du proche littoral dépend du débit moyen et du degré d'ancienneté du rejet et de la nature de celui-ci (avec ou sans altéragènes chimiques), ainsi que du degré de voisinage des rejets sauvages individuels, par exemple lorsqu'une portion du liseré côtier densément bordée d'habitations se trouve entre deux parties du rivage qui sont inhabitées. En ce qui concerne l'oursin comestible, le potentiel d'eutrophie ne pourra restaurer des populations denses comme celles observées par KEMPF (1962) que dans la mesure où la dégradation générale des fonds côtiers n'est pas arrivée à un point de non-retour empêchant l'espèce de s'y établir à nouveau.

BIBLIOGRAPHIE

ANONYME, 1981. — Étude d'une aire côtière soumise à une pollution globale d'origine urbaine. Rapport Pelagos. Contrat Ville de Marseille et Ministère de l'Environnement. pp 149 et annexes. Rapport diffusion limitée.

BIGOT (L.), PICARD (J.) et ROMAN (M.L.), 1982. — Contribution à l'étude des peuplements des invertébrés du milieux extrêmes. 1. La plage et les dunes-vives de l'Espiguette (Grau-du-Roi, Gard). *Ecologia Mediterranea*, 8 (3), 3-29.

BIGOT (L.), PICARD (J.) et ROMAN (M.L.), 1984. — Signification des peuplements d'Invertébrés des plages et dunes du delta du Rhône (délimitation des domaines marin et terrestre. *C.R Acad. Sc. Paris*, t. 298, série III, n°1, 5-7.

BELLAN (G.), 1967. — Pollution et peuplements marins benthiques sur substrats meubles dans la région de Marseille. Première partie : le secteur de Cortiou *Rev. int. Océanogr. Med.*, 6 (3), 53-87.

BELLAN (G.), BELLAN-SANTINI (D.) et PICARD (J.), 1978. —Modalités de répartition en Méditerranée nord-occidentale des peuplements benthiques des sédiments côtiers soumis à la pollution par matières organiques domnantes. *IVes Journées Etud. Pollutions C.I.E.S.M.*, 351-358

BELLAN (G.), BELLAN-SANTINI (D.) et PICARD (J.), 1980 —Mise en évidence de modèles bio-écologiques dans des zones soumises à perturbation par matières organiques. *Oceanol Acta*, 3 (3), 383-390.

CASTELBON (C.), 1972. — Étude de la circulation des masses d'eau dans le Golfe de Marseille. *Tethys*, 4 (2), 269-312.

DELMAS (P.), et REGIS (M.B.), 1985. — Impact de la pollution complexe à dominante domestique sur les populations de l'Echinoide comestible *Paracentrotus lividus* (Lamarck). *C.R. hebd. Séanc. Acad. Sci.*, Paris, 300 (4), 143-146.

DELMAS (P.) et REGIS (M.B.), 1984. — Influence d'une pollution complexe à dominante domestique sur les populations de l'Echinoide comestible *Paracentrotus lividus* (Lmk). *Vie Marine*, 6, 63-72.

DESROSIERS (G.), BELLAN-SANTINI (D.) et BRETHES (J.C.), 1986. — Organisation trophique de quatre peuplements de substrat rocheux selon un gradient de pollution industrielle (Golfe de Fos, France). *Mar. Biol.*, 91, 107-120

E.P.O.P.E.M., 1978. — Impact d'un effluent urbain sur les populations néritiques. Présentation du site de Cortiou (Equipe pollution Pélagique de Marseille. *IVes Journées Etud. Pollution. C.I.E.S.M.*, pp. 365-369

E P.O.P.E.M., 1979. — Système planctomique et pollution urbaine. Présentation du site de Cortiou, Calanque de Marseilleveyre. Equipe Pollution Pélagique de Marseille. *Tethys*, 9 (1), 23-30.

GRAS (G.), 1985. — Exploitation de l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* (Lmk) dans le Quartier Maritime de Marseille. *Rapport DEA*. Ecologie méditerranéenne. Univ. Aix-Marseille III (rapport à diffusion limitée). pp. 36 et annexes.

HARMELIN (J.G.), BOUCHON (C.) et HONG (J.S.), 1981. — Action différentielle des pollutions industrielle et domestique sur les populations d'Echinodermes des substrats durs en Provence (Méditerranée Nord Occidentale). *Tethys*, 10 (1), 13-36

KEMPF (M), 1962. — Recherches d'écologie comparée sur *Paracentrotus lividus* (Lmk) et *Arbacia lixula* (L.). *Doctorat d'Océnaographie* (3ème cycle). Univ. Aix-Marseille, 82 p

LABORDE (P.), PERES (J.M), ROMANO (J.C.) et SOUZA-LIMA (Y.), 1986. — Interprétation dynamique des conditions hydrologiques et écologiques conduisant aux eaux rouges à *Noctiluca. C.R. Acad. Sci., Paris,* 302 (6) Sér III, 197-199

MARION (A.F.), 1883. — Esquisse d'une topographie zoologique du Golfe de Marseille *Ann. Mus. Hist. Nat. Marseille,* 1, 6-105.

MILLOT (C.), 1979. — Wind induced upwellings in the Gulf of Lions. *Oceanol. Acta.*, 2, 261-274.

PERES (J.M), 1982. — Étude intégrée de l'impact des effluents urbains sur les écosystèmes marins côtiers. *In : Seminari internazional sull'inquinamento marino.* Instituto Scienze Ambientali Marine. Università di Genova. 113-135.

PERES (J.M), LABORDE (P.), ROMANO (J C) et SOUZA-LIMA (Y.), 1986. — Eau rouge à *Noctiluca* sur la côte de Provence en juin 1984. Essai d'interprétation dynamique. *Ann. Inst. Oceanogr.* Paris, 62 (1), 85-116

REGIS (M.B.), PERES (J.M.) et GRAS (G.), 1985. — Données préliminaires sur l'exploitation de la ressource : *Paracentrotus lividus* (Lmk) dans le Quartier Maritime de Marseille. 1985. *Vie Marine* (Fond Océano Ricard), 7, p. 41-60.

REGIS (M.B), DELMAS (P), GRAS (G.) et PERES (J.M), 1986 — Influence des apports polluants sur les populations de l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* (Lmk). 3e Séminaire international sur les Echinodermes. 22-25 sept. 1986, Nantes, Muséum d'Histoire Naturelle (sous presse).

Bull. Ecol., t 18, 2, 1987, p. 115-116

ASPECTS APPLIQUÉS ET INTERNATIONAUX DE L'ÉCOLOGIE LITTORALE MÉDITERRANÉENNE

par Oscar RAVERA

Department of Physical and Natural Sciences. Commission of the European Communities - J R.C. 21020 ISPRA (Varese) Italy

MOTS-CLÉS : Méditerranée - Littoral - Écologie - Recherche internationale - Commission des Communautés Européennes

KEY-WORDS : Mediterranean Sea - Littoral - Ecology - International research - Commission of the European Communities

RÉSUMÉ

Après un rapide rappel de l'évolution de l'environnement méditerranéen, l'auteur présente les principaux programmes de recherche internationale incités par la Commission des Communautés Européennes

SUMMARY

International an applied aspects of Mediterranean ecology

After a short review of the evolution of the mediterranean environment, the author presents the major international programs of the Commission of the European Communities.

Les monts divisent les peuples, les mers les unissent.

La Méditerranée, mer fermée et caractérisée par un climat typique, a été, à partir du néolithique, l'aire des rencontres et des échanges culturels entre peuples différents par leur origine et leur civilisation. L'environnement méditerranéen n'a pas influencé seulement la végétation et la faune en les différenciant des zones limitrophes, mais en influençant profondément les peuples, avec de nombreuses caractéristiques communes bien documentées par l'archéologie et l'ethnologie. En conséquence, la Méditerranée, sous divers aspects, peut être considérée comme une unité écologique résultant de l'intégration entre divers peuples, leurs activités, l'environnement physique et les populations animales et végétales. L'influence de ces peuples a donné lieu (pas seulement récemment) à certains déséquilibres graves (par exemple, la désertification, la dégradation du sol, les incendies, la pollution du littoral, l'extinction de diverses espèces animales et végétales) et à de profondes altérations de l'environnement naturel (par exemple, la substitution de la végétation spontanée par des agricultures et l'importation d'espèces animales et végétales exotiques). Depuis la découverte de l'Amérique jusqu'à la construction du Canal de Suez, la Méditerranée a perdu une bonne partie de son importance comme centre des trafics maritimes, avec, pour conséquence, la décadence de certains pays méditerranéens au bénéfice d'autres pays atlantiques.

Après l'ouverture du Canal de Suez, la Méditerranée a acquis de nouveau son importance, soit par des trafics, soit par l'industrialisation de certaines zones. Après la 2ème Guerre Mondiale, la Méditerranée a été choisie comme l'une des meilleures zones du monde pour le développement du tourisme. Les eaux littorales reçoivent des quantités considérables de pollution d'origine industrielle et agricole, en plus des effluents domestiques, la quantité de ces derniers est tellement remarquable dans les zones touristiques pendant la saison chaude, qu'elle augmente sensiblement le degré de trophie des eaux littorales. Le transport des hydrocarbures est une source de pollution pour les eaux pélagiques comme pour les eaux littorales. D'autre part, si l'on exclue la zone littorale, la Méditerranée est une mer relativement pauvre en substances nutritives, pauvreté qui est démontrée par la transparence de ses eaux et par la faible productivité pélagique, si elle est confrontée avec celle des mers du Nord.

Les activités humaines qui dépendent de la mer sont concentrées sur la zone littorale ; en effet, la plupart des poissons, des crustacés et des mollusques comestibles proviennent de cette zone dans laquelle aussi l'aquaculture est pratiquée. La Commission des Communautés Européennes ne pouvait certainement pas négliger les problèmes concernant la Méditerranée parce que quatre pays méditerranéens en font partie (l'Espagne, la France, l'Italie et la Grèce). Il y a, par exemple, plusieurs études chimiques, biologiques et écologiques promues par la Communauté sur l'environnement du littoral de la Méditerranée, dans le cadre du programme des actions indirectes (recherches conduites par des institutions nationales subventionnées à 50 % par la Communauté). Les actions concernées (COST) consistent en une réunion de chercheurs appartenant soit aux pays de la Communauté soit aux pays hors de la Communauté, afin de pouvoir développer des programmes d'études orientés vers d'importants problèmes d'actualité, et de promouvoir des échanges d'idées. Les recherches sont subventionnées par les organisations nationales, tandis que les réunions et les frais de coordination sont à charge de la Communauté. Le programme du COST 647 concerne les études sur la dynamique des populations des invertébrés benthiques, surtout les mollusques des zones benthiques non polluées des mers des pays nordiques. Le but final de ce programme est d'obtenir, par des recherches continues pendant diverses années, une indication de l'état des populations littorales non influencées par la

pollution, pour la confronter avec celui des aires polluées, et pour évaluer les altérations des peuplements, si les aires étudiées devaient subir en futur d'éventuelles pollutions. Les résultats obtenus sont très appréciables. La Communauté a décidé d'étendre ensuite, le programme à l'aire méditerranéenne. Il en résulte une grande difficulté d'adaptation des programmes des mers du Nord au littoral méditerranéen pour différentes raisons, et en conséquence, il a été proposé d'élaborer un programme dans le même but pour la Méditerranée, mais concernant l'écosystème plutôt que les populations. La réalisation de cette proposition n'est certainement pas simple, mais l'existence de groupes de travail de chercheurs qui appartiennent aux quatre pays méditerranéens de la Communauté (Espagne, France, Italie et Grèce) et concernant les recherches sur l'écosystème *Posidonia* semble être une bonne raison pour proposer à la Communauté un programme sur ce sujet. Ce programme attend d'être approuvé. La proposition a été élaborée par un groupe international d'experts dans ce domaine qui s'est réuni à Luminy (Marseille) du 19 au 21 mars 1986 sous l'égide de la Commission des Communautés Européennes. Charles F. Boudouresque a été élu coordinateur du groupe.

La proposition prévoit des recherches pluriannuelles sur les herbiers à *Posidonia oceanica* (Phanérogame marine), considérés comme l'un des écosystèmes benthiques les plus importants de la Méditerranée pour sa biomasse, sa production primaire et sa diffusion. Les herbiers à *Posidonia* sont présents à peu près partout dans la Méditerranée entre la surface et 30-40 m de profondeur, à l'exception des embouchures des grands fleuves. Le but de ce programme, qui concerne un écosystème bien défini et commun aux quatre pays méditerranéens de la Communauté, est le même que celui des pays nordiques. La présence en Europe du Nord et de l'Ouest d'herbiers à *Zostera marina* (Phanérogame marine) et de prairies de *Laminaria* (macro-algue) rend possible une approche similaire à celle proposée pour l'écosystème *Posidonia* en Méditerranée, approche qui permettrait de comparer les écosystèmes littoraux des pays du Sud avec ceux du Nord et de l'Ouest de l'Europe.

THÈME I

LES GRANDS DELTAS : L'IMPACT DES GRANDS FLEUVES

Bull. Ecol., t. 18, 2, 1987, p. 119-122

IMPACTS DES APPORTS RHODANIENS SUR LE MILIEU PÉLAGIQUE DU GOLFE DU LION

par Michel LEVEAU et Bernard COSTE

Centre d'Océanologie de Marseille. Faculté des Sciences de Luminy 13288 MARSEILLE Cedex 9

MOTS-CLÉS : Eutrophisation - Rhône - Golfe du Lion - Méditerranée.

RÉSUMÉ
(Travail original)

L'analyse des données obtenues lors de la dernière décennie, au cours de nombreuses campagnes à la mer dans le Golfe du Lion, dont la plus importante est Eurhogli 83, ainsi que les prélèvements réguliers dans le Rhône, ont permis de dresser un bilan des apports (flux d'eau douce, M.P.S., sels nutritifs) et de mieux comprendre les impacts de ces apports rhodaniens sur la structure et le fonctionnement de l'écosystème pélagique du Golfe du Lion soumis à la dilution.

Les mesures effectuées dans l'I.R. et le visible au moyen de la télédétection confirment les résultats obtenus lors de campagnes à la mer et permettent de mieux saisir la grande variabilité spatio-temporelle du système de dilution rhodanien et de montrer l'influence prépondérante des conditions météorologiques (vents en particulier) sur l'évolution des structures halines, thermiques, turbides et pigmentaires

L'eutrophisation par les eaux du Rhône du Golfe du Lion est le plus souvent relativement limitée à la zone proximale du débouché. Toutefois on observe fréquemment en surface en l'absence de vent et en période estivale jusqu'à 60 milles au large, l'apparition de «blooms» phytoplanctoniques (taches pigmentaires visibles par télédétection) constitués par des communautés peu structurées mais très productives, qui deviennent beaucoup moins repérables lors de coups de vents par suite du mélange des eaux diluées riches en phytoplancton, avec celles sous jacentes.

Une présentation succinte des prospectives de recherches à effectuer dans cette zone est donnée pour les années à venir, recherches dont les objectifs essentiels concerneront l'étude des flux de matière et d'énergie ainsi que la modélisation du panache rhodanien.

KEY-WORDS : Eutrophisation - Rhone - Gulf of Lions - Mediterranean Sea

SUMMARY
(Original scientific paper)

The effects of the Rhone river imputs on the pelagic ecosystem in the Gulf of Lion

The analysis of data obtained over the last decade in the course of oceanographic expeditions in the Gulf of Lions (the most significant being Eurhogli 83) as well as the samplings in the Rhone river, enable us to assess the importance of inputs (freshwater fluxes, M.P.S., nutrients) and to understand better the effects of Rhone river inputs on the structure and the functioning of the pelagic ecosystem in this area.

The measures carried out in I.R. and visible light by means of teledetection confirm the results obtained during expeditions at sea and make possible to appreciate better the great spatio-temporal variability of the Rhone dilution system and to show the dominant influence of meteorologic conditions (particularly winds) on the evolution of haline, thermal, turbide and pigmentary structures.

The eutrophisation of the Gulf of Lions resulting from Rhone inputs is generally limited to the immediate area of the mouth river. However, phytoplankton blooms (pigmentary stains show up by teledetection) made of unstructured but highly productive communities, can be frequently observed in surface sea waters, in the absence of wind and/or during summertime, up to 60 miles offshore. These pigmentary stains turn out to be less easily detected during wind blowing, as a result of mixing phytoplankton rich diluted waters with underlying waters.

Prospects for research to be done in this area over the next few years are succinctly outlined. The purpose will essentially be the study of energy and organic water fluxes through sea/river interface as well as the modelling of the Rhone «plumes»

I — INTRODUCTION

Les études sur les flux de matière et d'énergie dans le milieu océanique constituent un des principaux domaines de recherche de l'Océanographie actuelle. Ces recherches sont basées sur la connaissance des distributions spatio-temporelles de nombreux paramètres (constituants de la matière vivante (C, N, P), composants du système CO_2 ou de la matière particulaire en suspension (MPS), etc.), des cinétiques d'échanges et de la dynamique océanique.

Cet intérêt se manifeste par la mise en place de grands programmes aux niveaux international et national : Global Ocean Flux Study (GOFS) aux U.S.A., Flux de Matière Organique (FMO) et diverses Actions Thématiques Programmées (ATP) en France...

Dans le cadre de ces programmes, la Méditerranée Occidentale qui a déjà fait l'objet de nombreuses recherches, peut-être considérée comme un modèle intéressant.

Ce bassin a un fonctionnement *a priori* relativement simple : les flux d'entrée et de sortie se font essentiellement au niveau des détroits (Gibraltar et siculo-tunisien) et par les apports continentaux (émissaires, fleuves) dont le Rhône est de loin le plus important.

Au cours de ces dernières décennies, les objectifs priori-

taires lors des études de l'effluence rhodanienne ont été de :

— dresser un bilan des apports,

— connaître leur devenir en mer,

— évaluer leurs impacts,et,ce tout particulièrement sur la production primaire.

II — MÉTHODOLOGIE

Pour dresser un bilan des apports, nous avons pendant plus d'un an effectué des prélèvements réguliers dans le fleuve, mesures qui se poursuivent actuellement.

Pour **étudier le devenir** des eaux rhodaniennes en mer et connaître leur impact, plusieurs campagnes à la mer ont été réalisées avec des stratégies d'échantillonnage variées : réseau de stations et mesures multiparamétriques en continu en surface.

Nous avons par ailleurs et simultanément aux missions en mer employé les images fournies par la télédétection qui permettent d'avoir une vision synoptique instantanée et répétitive de l'aire de dilution et de ses abords.

La télédétection offre l'avantage de pallier avantageusement la lenteur des prélèvements en mer mais nécessite cependant des campagnes vérité mer pour calibrer les informations.

III — RÉSULTATS

A — BILAN SUCCINCT DES APPORTS RHODANIENS

Le Rhône qui draine un bassin versant d'environ 95.000 km² a un débit moyen de 1.600 m³/s (51 10^9 m³/an).

Les flux moyens de M.P.S., d'azote et de phosphore sont respectivement de 5 millions T/an, 150.000 T/an, et 7.000 T/an.

Cette eau douce eutrophe et turbide débouche en mer et rencontre les eaux du courant Liguro-Provençal oligotrophes et peu chargées en matière en suspension qui s'écoulent d'Est en Ouest.

B — DEVENIR DES EAUX DU RHÔNE EN MER

Pour appréhender le devenir des eaux continentales, les meilleurs traceurs sont la salinité et à un moindre degré la température et la turbidité.

a) Nappe de dilution

Les eaux du Rhône, leur débouché en mer s'étalent en surface et par divers processus de mélange il se forme une nappe de dilution dont l'épaisseur varie de quelques centimètres à plusieurs mètres (1, 2, 3).

Cette nappe s'oriente très rapidement vers le Sud-Ouest et l'Ouest sous l'effet du courant Liguro-Provençal. Elle envahit plus ou moins complètement l'ensemble du Golfe du Lion. Son extension est sous la dépendance des fluctuations des facteurs hydrodynamiques et météorologiques (16).

b) Tache thermique

L'imagerie satellitaire permet parfois de suivre l'évolution de la «tache thermique» crée par l'arrivée des eaux du Rhône en mer dont la température présente suivant les saisons quelques degrés d'écart avec celle de la mer, ce qui permet de suivre l'influence des vents sur la vitesse et l'orientation du déplacement de cette «tache thermique».

Les images du panache thermique sont obtenues à partir du capteur AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer). A partir d'une grande série de photographies d'archives portant sur plusieurs années, on a pu d'une part déterminer **l'enveloppe thermique** par différents types de vent et d'autre part déterminer la vitesse de son déplacement en fonction de la force et de la direction du vent. Le panache se déplace toujours à 50° à droite du lit du vent (8, 9, 14).

C — IMPACT DES APPORTS RHODANIENS

Ils sont de diverses natures, mais seuls seront abordés ici l'augmentation de la turbidité et l'eutrophisation.

a) Le matériel particulaire en suspension (M.P.S.)

Les quantités de M.P.S. dans l'eau de mer fluctuent notablement au cours du temps en fonction certes des variations de débit, mais aussi de la période des crues. Les premières crues après étiages véhiculent toujours vers la mer des quantités importantes de M.P.S. alors que les suivantes pour des débits équivalents ou supérieurs présentent des eaux moins chargées .

A leur arrivée en mer, ces particules sédimentent rapidement dans une zone de sédimentation préférentielle localisée près de l'embouchure et elles forment sous l'halocline une ou des couches néphéloïdes (15).

En surface, la turbidité reste néanmoins relativement importante dans une bonne partie du Golfe du Lion comme on a pu s'en rendre compte par des mesures directes de néphélométrie, ou indirectes (poids sestoniques et spectres de taille de particules).

Les mesures de spectres de taille de particules réalisées durant la première période de la mission Eurhogli, juillet 83, ont permis après des traitements mathématiques appropriés (analyses multivariées) de déterminer trois zones caractérisées par les spectres de taille (12, 13).

Ainsi, la première zone localisée à proximité de l'embouchure est caractérisée par des spectres présentant un grand nombre de particules de petites tailles associées à de grosses particules (existence de deux modes).

La zone 2 correspond à l'influence secondaire du Rhône où l'on note une nette diminution du nombre de particules, particulièrement des fines.

La zone 3 correspond aux eaux du large peu influencées par les eaux du Rhône. On y distingue un mode situé vers les grosses tailles, caractéristique des cellules phytoplanctoniques.

L'imagerie satellitaire grâce au capteur CZCS (Coastal Zone Color Scanner) permet également de retrouver avec plus de précision les trois zones précédemment définies (9).

L'augmentation de M.P.S. va, dans une certaine mesure, augmenter la turbidité donc diminuer la pénétration de lumière indispensable à la photosynthèse. Par ailleurs, ces

particules peuvent être les **vecteurs** d'un certain nombre de polluants qui peuvent avoir des effets négatifs sur la production primaire lors de leur dispersion dans la masse d'eau ou au niveau des sédiments. Ainsi, dans la microcouche de surface (quelques microns) on a trouvé des teneurs en Cobalt radioactif 50 à 100 fois supérieures à celles trouvées dans les eaux sous-jacentes moins riches en particules (Romano J C., communication personnelle).

b) L'eutrophisation et ses conséquences

Comme nous l'avons déjà signalé, les eaux du Rhône sont riches en éléments nutritifs : 150.000 T d'azote et 7.000 T de phosphore sont déversées annuellement en mer. Ces apports en éléments biogènes vont provoquer une eutrophisation d'une grande partie des eaux de surface du golfe du Lion dont les répercussions sur le système phytoplanctonique sont loin d'être négligeables (5, 6, 7).

On observe en général en raison de la dessalure et de l'eutrophisation un **système phytoplanctonique peu structuré, peu diversifié, immature** constitué par peu d'espèces de petites tailles mais par contre très abondantes (1, 2, 3, 4, 11).

La **biomasse phytoplanctonique** est élevée ce que traduisent les teneurs importantes en chlorophylle *a* par rapport aux aires avoisinantes non diluées et peu eutrophisées, (on observe de fortes concentrations en pigments par rapport aux zones avoisinantes à quelque distance de l'embouchure, environ 60 km) (10)

Les clichés obtenus à partir du capteur CZCS (= 440 nm) permettent également de donner une image de l'importance des «**taches pigmentaires**» et de leur évolution dans le temps et l'espace lorsque les conditions climatiques sont stables. Des mesures de chlorophylle *a* et de production primaire effectuées parallèlement ont permis de montrer la bonne coïncidence entre la présence de ces taches et les teneurs en chlorophylle *a* d'une part, et les zones à forte production d'autre part (460 mg $C/m^2/j$)(9, 10).

En conclusion : ces travaux étalés sur plus d'une dizaine d'années permettent de dégager les grands traits de la structure tant hydrologique que chimique ou biologique du système de dilution rhodanien.

IV — PROSPECTIVES

A l'occasion de la muse en place de divers programmes nationaux (Frontal, Ecolion, Flux de particules et de polluants..., etc.) nous poursuivrons nos recherches en vue d'appréhender la dynamique du système.

Par ces divers programmes nous tenterons de :

— quantifier à différentes échelles de temps et d'espace le devenir (évolution chimique) de la matière particulaire allochtone et autochtone minérale et organique ainsi que les flux vers le fond ou le large (vitesse de sédimentation, transferts horizontaux, accumulation préférentielle au niveau de l'halocline, de la thermocline ou du fond, etc.).

— définir les cinétiques d'assimilation et de régénération des éléments azotés en relation avec les fluctuations saisonnières quantitatives et qualitatives des communautés phyto- et zooplanctoniques et bactériennes (études de la production phytoplanctonique, du grazing, de la production de fèces, de minéralisation..., etc.).

V — CONCLUSIONS

Si dans les deux années à venir nous répondons, même partiellement, à ces questions, nous aurons fait un grand pas, d'une part dans la connaissance des flux de matière dans le système de dilution rhodanien, et d'autre part dans la compréhension des impacts des apports rhodaniens sur le système plus général qu'est la Méditerranée occidentale.

BIBLIOGRAPHIE

1 — BLANC (F.), LEVEAU (M.) & SZEKIELDA (K.H.), 1969. — Effets eutrophiques au débouché d'un grand fleuve (Grand Rhône). *Mar. Biol.*, 3, 233-242

2 — BLANC (F.) & LEVEAU (M.), 1970. — Effets de l'eutrophie et de la dessalure sur les populations phytoplanctoniques. *Mar. Biol.*, 5, 283-293.

3 — BLANC (F.) & LEVEAU (M.), 1973. — *Plancton et eutrophie ; aire d'épandage rhodanienne et Golfe de Fos (traitement mathématique des données).* Thèse Doct. ès Sci., Univ. Aix-Marseille II. 681 pp.

4 — BLANC (F.), LEVEAU (M.) & BONIN (M.C.), 1975. — Ecosystème planctonique. Structure et fonctionnement en relation avec des phénomènes de distrophie (Golfe de Fos). *Ini. Rev. ges. Hydrobiol.* 60, 359-378

5 — COSTE (B.) & MINAS (H J.), 1967. — Premières observations sur la distribution des taux de productivité et les concentrations en sels nutritifs des eaux de surface du Golfe du Lion. *Cah. Oceanogr.*, 19, (5), 417-429

6 — COSTE (B.), 1971. — *Circulation et évolution des composées de l'azote et du phosphore (sels nutritifs) dans le bassin nord-occidental méditerranéen. Influence sur la production organique.* Thèse Doct. ès Sci., Univ. Aix-Marseille, 256 pp

7 — COSTE (B.), 1974. — Rôle des apports nutritifs minéraux rhodaniens sur la production organique des eaux du Golfe du Lion. *Téthys*, 6, 727-740

8 — DEMARCQ (H) & WALD (L.), 1984. — La dynamique superficielle du panache du Rhône d'après l'imagerie infrarouge satellitaire. *Oceanologica Acta*, 7 (2), 159-162

9 — DEMARCQ (H.), 1985. — *Application de la télédétection infrarouge et visible en Océanographie. Étude de la zone de dilution rhodanienne, observations des zones de production dans le Golfe du Lion et estimation de l'éclairement solaire global en Méditerranée occidentale.* Thèse Doct. 3ème cycle Océanologie. Univ. Aix-Marseille II, 168 pp.

10 — FREIJE (R.H.), 1985 — *Étude de la production primaire en période estivale dans le Golfe du Lion.* Thèse Doct. 3ème cycle Océanologie. Univ. Aix-Marseille II, 125 pp

11 — JACQUES (G.), 1970. — Aspects quantitatifs du phytoplancton de Banyuls sur mer (Golfe du Lion). IV — Biomasse et Production 1961 - 1969. *Vie et Milieu*, B, 21, 37-102.

12 — LOEILLET (C.), 1984. — *Étude statistique des distributions de taille des particules en suspension dans deux zones soumises à l'influence rhodanienne (Darse 1 de Fos, Golfe du Lion).* Thèse 3ème cycle Océanologie. Univ. Aix-Marseille II, 123 pp. + annexes 73 pp

13 — LOEILLET (C.), LEVEAU (M.), 1985. — Influence des apports rhodaniens sur la structure du système particulaire dans le Golfe du Lion. *C.R. Acad. Sc. Paris*, t. 301 (sér. II), 397-402.

14 — MILLOT (C.) & WALD (L.), 1981 b. — Upwelling in the Gulf of Lions. *In : Costal upwelling*. Vol. 1, *Coastal and estuarine Science Series*, F.A. Richards ed., American Geophysical Union, 160-166

15 — MONACO (A.), 1980. — Comportement de quelques métaux lourds et éléments de transition dans les interfaces stratifiées Exemples dans la Méditerranée Nord-Occidentale. *In : Seminari Internazionali sull'inquinamento marino*. Ed. da N. Della Croce, 75-91.

16 — TOURNIER (H.), 1969 — Hydrologie saisonnière du Golfe du Lion (Travaux de l'«Ichthys» 1966-1967 *Rev. Trav. Inst. Pêch. Marit.*, 33 (3), 265-300.

Bull. Ecol., t. 18, 2, 1987, p. 123-130

HYDROLOGIE ET CHARGE NUTRITIVE A L'EMBOUCHURE DU RHÔNE (saison froide)

par Robert ARFI

Centre d'Océanologie de Marseille (UA 41)
Faculté des Sciences de Luminy — 13288 MARSEILLE Cedex 9

MOTS-CLÉS : Hydrologie - Sels nutritifs - Rhône - Méditerranée.

KEY-WORDS : Hydrology - Nutrients - Rhône - Mediterranean sea.

RÉSUMÉ

Des prélèvements hydrologiques réalisés en surface à proximité de l'embouchure du Rhône permettent de s'intéresser au devenir à court terme de la charge nutritive amenée en mer par le fleuve. La dilution des eaux continentales dans le milieu marin est assez rapide, et les teneurs en éléments nutritifs (nitrates, nitrites, phosphates et silicates) diminuent rapidement dans le panache rhodanien. Les eaux du large à l'est et au sud de l'embouchure sont oligotrophes, comme, dans une certaine mesure, les eaux de la nappe elle-même. Les conséquences eutrophisantes du déversement des eaux du Rhône en mer ne se manifestent donc pas à proximité du delta, mais plusieurs dizaines de milles plus au large, dans l'axe de dilution et à la périphérie du panache. A partir de 3 descripteurs du milieu (salinité, éléments nutritifs et chlorophylle a), on peut établir une classification des eaux de l'ensemble écologique golfe de l'ouest-nappe du Rhône, en fonction de leurs caractéristiques respectives.

SUMMARY

Hydrology and nutrient load at the Rhône mouth (cold season)

Surface water near the Rhône mouth was sampled during the cold season in order to follow the short-term evolution of the nutritive load of the river at sea. The continental waters are rapidly diluted in the marine area, and the concentrations of nutrients (nitrates, nitrites, phosphates and silicates) decrease quickly in the Rhône plume. Sea water East and South of the river mouth are oligotrophic, like the mixed river waters themselves. Eutrophic consequences of the continental enrichment of the sea by the Rhône waters is not important near the coast, but can be appreciated several tens of milles from the mouth, in the sea water surrounding the plume. From 3 descriptors (salinity, nutrients and chlorophyll a), a classification of these waters can be proposed.

INTRODUCTION

Le Rhône est, avec le Pô et le Nil, un des trois fleuves principaux se déversant en Méditerranée. Son influence s'étend directement ou indirectement bien au-delà du golfe du Lion, et sa nappe de dilution, très marquée en zone côtière, s'étend sur plusieurs dizaines de km². Les caractéristiques hydrologiques de ce secteur néritique sont particulières, en raison de l'importance de la dessalure que l'on y observe, comme de la forte charge détritique qui y est amenée en permanence. De telles transformations se répercutent immédiatement sur l'écologie du milieu récepteur, mais les conséquences enrichissantes de ce rejet n'apparaîtront pas à proximité du débouché du fleuve en mer : on pourra comparer, à juste titre, le panache du Rhône en mer à un «lit» du fleuve sur plusieurs km. Avec l'ensemble étang de Berre-golfe de Fos, la nappe de dilution du Rhône forme un ensemble écologique régional très particulier, où coexistent ressemblances (milieux à salinité variable, forte charge nutritive présente en permanence) et dissemblances (production biologique globale variant de plusieurs ordres de grandeur en dépit de la présence de cette charge trophique.

Un ensemble de prélèvements réalisés entre novembre 1983 et juin 1984 (programme «RHONEC») permet de s'intéresser aux conditions hydrologiques observées dans la nappe de dilution du fleuve et à sa périphérie, à proximité de l'embouchure (figure 1). Cette zone côtière, jusque-là peu étudiée, constitue un site particulièrement riche en éléments nutritifs ; mais les conditions hydrodynamiques qui y règnent, comme les amples fluctuations hydrologiques que l'on y observe, apparaissent défavorables au développement d'une forte production primaire. Ce travail décrit la situation écologique prévalant dans le panache du Rhône au cours de la saison froide 1983-84 ($10^{\circ} < T < 18^{\circ}C$), et compare les caractéristiques de cette masse d'eau à celles des sites adjacents.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Pour cette étude :

— les débits du Grand Rhône (station de Beaucaire) ont été fournis par la Compagnie Nationale du Rhône.

— les prélèvements ont été réalisés à partir des bateaux «Antedon» et «Korotneff». Les analyses concernent la salinité (conductimètre), les éléments nutritifs (analyseur Technicon) et les pigments chlorophylliens (fluorimétrie).

— les acquisitions de données en continu ont été effectuées selon la procédure décrite par BELLUAU (1986) et se rapportent à la température, la conductivité (sonde Monedoro), la fluorimétrie (fluorimètre Turner Designs) et la turbidité (turbidimètre Turner), les appareils étant adaptés à la mesure en continu (acquisition et stockage sur microordinateur HP-85).

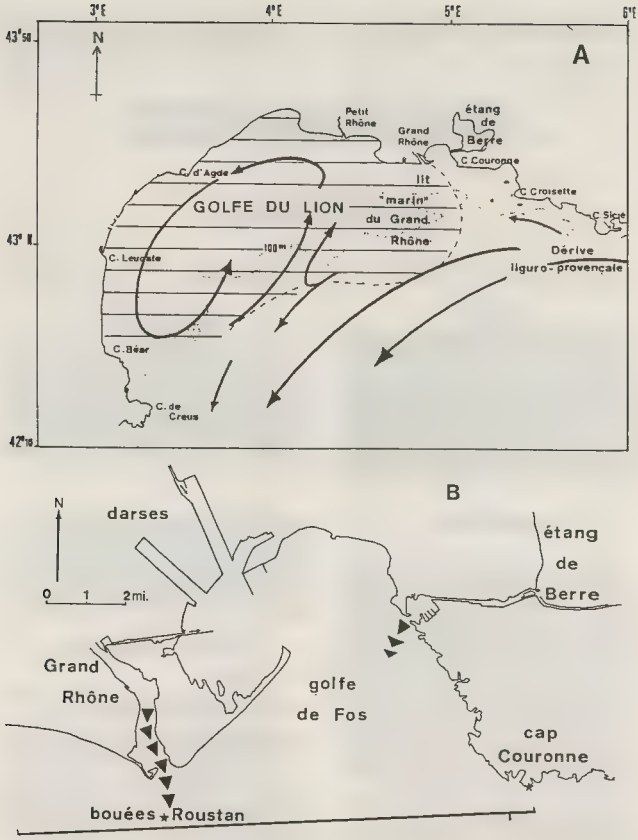


FIG. 1. — Carte du golfe du Lion (A) et zone prospectée (B) face à l'embouchure du Grand Rhône.

LE GRAND RHÔNE ET SON PANACHE DE DILUTION : HYDROLOGIE

1 — *CARACTÉRISTIQUES DU REJET*

Le Rhône draine un superficie de près de 82.000 km² ; son réseau hydrologique est alimenté à la fois par la fonte des neiges en massifs alpestres (mars à juin), les pluies méditerranéennes du Sud de son bassin (printemps et automne) et par les pluies océaniques en hiver. Son débit est important, et dépasse le plus souvent 1.500 m³/s de novembre à juin. Les mois d'été sont ceux où des valeurs inférieures à 1 000 m³ peuvent être observées (BRUN, 1967). Le volume quotidien d'eau douce déversé en mer au cours de la période 1967-1983 a été, en moyenne, de 147 millions de m³. La variabilité interannuelle est importante, et sur une série de 10 années (1975-1984), on observe de fortes différences (Figure 2) :

— les années 1975, 1976 et 1984 présentent plutôt un déficit hydrologique, avec des débits moyens mensuels inférieurs ou égaux à 2.000 m³/s,

— les années 1977, 1978, 1982 et 1983 montrent, au contraire, des débits mensuels moyens souvent supérieurs à 2.500 m³/s,

— les années 1979 à 1981 diffèrent peu d'une année «moyenne», avec des anomalies positives et négatives approximativement égales.

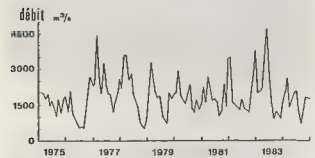


FIG. 2. — Évolution interannuelle des débits moyens mensuels du Rhône à Beaucaire (1975-1984).

A cette variabilité des débits correspond bien évidemment une variabilité de la charge détritique transportée, ce qui ne sera pas sans conséquence sur l'influence globale du Rhône dans le Golfe du Lion

2. *DÉLIMITATION DE L'AIRE D'INFLUENCE RHODANIENNE*

2.2. Aspect spatial

Les eaux du Rhône sont propulsées dans le milieu marin selon une direction générale NW-SE, à une vitesse pouvant atteindre 3 noeuds à proximité immédiate du débouché (BRUN, 1967). Ces eaux continentales ne se mélangent pas immédiatement avec les eaux de mer, mais suivent un véritable «lit marin» avant de véritablement s'étaler en surface et se diluer dans le milieu marin (BLANC et LEVEAU, 1973). L'extension de la nappe de dilution est alors à relier directement au débit du fleuve, à la différence de température entre les deux masses d'eau, et à la situation courantologique (et donc météorologique) du moment (TOURNIER, 1967 ; FIEUX, 1972). En se basant uniquement sur le premier de ces paramètres, DEMARCQ (1985) n'a pu établir de relation entre la superficie de la nappe et le débit du fleuve. L'importance et la localisation du panache de dilution diffèrent en effet largement selon les conditions de vent (Figure 3) :

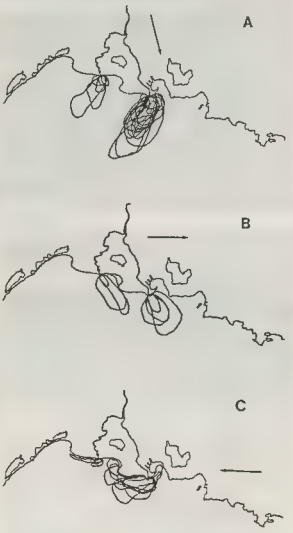


FIG. 3. — Contours de la nappe de dilution du Rhône (limites thermiques) obtenues à partir de données satellitaires, *in* DEMARCQ (1985). (A) Mistral établi, (B) vent de secteur Ouest et (C) vent de secteur Est.

● En l'absence de vent, ou par vent faible, la nappe a tendance à s'étaler face à l'embouchure, puis l'axe du panache s'oriente progressivement selon une direction NE-SW à environ 10 milles des côtes, en raison de la force de Coriolis. De part et d'autre de la nappe de dilution, la limite entre les deux masses d'eau est nettement marquée : le front hydrologique, souvent plus tranché à l'Est du panache, se

traduit par un important gradient thermique, halin et de turbidité. Par temps calme, on y observe fréquemment des accumulations de mousses et de matériel organique, s'étendant tout au long de ce front sur plusieurs km. A l'Ouest de la nappe et plus au large, la vitesse d'extension du panache diminue progressivement, de même que les différences existant entre les deux milieux. Au centre du Golfe du Lion, ALLAIN (1960), FURNESTIN (1960), FURNESTIN et ALLAIN (1962), TOURNIER (1967) et MINAS (1968) ont retrouvé cette orientation NE-SW de la nappe de dilution rhodanienne.

● L'effet du Mistral, souvent fort et souffiant du N-NW dans cette région, est très sensible : ce vent prépondérant sur l'année va d'abord favoriser l'extension vers l'Est de la nappe, qui prendra ensuite une direction SW en s'incurvant.

● Les vents de secteur Ouest et de secteur Sud ont une action plus limitée, mais peuvent parfois rabattre la frange orientale de la nappe de dilution à l'intérieur du golfe de Fos, amenant ainsi une dessalure massive dans ce secteur. La conjonction d'un fort Mistral et de débits importants peut entraîner des situations exceptionnelles : les eaux douces ou saumâtres peuvent dépasser le cap Couronne (KIM, 1979 ; ARFI, 1980) ou atteindre la rade de Marseille (MINAS, 1968 ; BLANC et LEVEAU, 1973 ; CHAMPALBERT, 1975) avec toutes les conséquences hydrologiques et écologiques qu'une telle incursion massive d'eau dessalée peut entraîner dans le milieu marin.

● Les vents d'Est, au contraire, renforcent la déviation de la nappe vers le SW, et contribuent à repousser les eaux douces vers l'Ouest contre le littoral de Camargue (DEMARCQ et WALD, 1984).

La masse d'eau continentale présente des caractéristiques hydrologiques très différentes de celles du milieu marin. La limite entre les deux types d'eau sera le plus souvent tranchée, et le front de nappe sera d'autant plus marqué que le gradient thermo-halin sera important. Mais si la différence de salinité est permanente, la différence de température varie selon la saison : la rapidité du mélange des eaux comme l'intensité du gradient de densité seront donc variables au cours de l'année. En outre, selon les conditions de vent et de courant, la limite pourra totalement disparaître, et on observera un passage insensible des eaux bleues du large aux eaux marron du fleuve. C'est généralement dans ces situations que la superficie de la nappe de dilution est la plus étendue.

L'enveloppe du panache rhodanien est également marquée en profondeur : son épaisseur varie de 3 à 5 m au débouché immédiat du fleuve à quelques dizaines de cm plus au large.

2.2. Aspect temporel

D'une manière générale, l'eau douce rejetée par le fleuve intéresse le Golfe du Lion dans sa totalité, au moins en surface (ALLAIN et FURNESTIN, 1969 ; COSTE, 1971, 1974). L'extension spatiale de la nappe étant à la fois dépendante du débit du fleuve et de la différence de densité entre les deux milieux, on pourra distinguer, selon TOURNIER (1967), deux situations :

a) en été et en automne, une aire de dilution de superficie restreinte, plutôt localisée à proximité de l'embouchure, et dont l'extension sera limitée par la faiblesse des débits d'une part, et un mélange plus rapide du fait de la moindre différence de température entre les deux eaux d'autre part,

b) en hiver et au printemps, un panache beaucoup plus étendu, en relation avec l'augmentation importante des débits, mais aussi l'augmentation de la différence des températures entre les deux masses d'eau.

3. *INFLUENCE LOCALE DES EAUX DU GRAND RHÔNE*

Le principal effet de l'intrusion des eaux continentales dans le milieu marin est la dessalure qu'on observe dans le panache rhodanien. A cette dessalure sont associées une forte charge particulaire organique et inorganique, et une non moins importante quantité de sels nutritifs qui vont considérablement enrichir la zone côtière à proximité du débouché. L'intensité de ces phénomènes va cependant diminuer rapidement avec l'éloignement de l'embouchure, et l'augmentation du mélange eau douce-eau de mer. A une certaine distance et après un temps variable selon le triplet (débit du fleuve-gradient thermique-conditions de vent), on retrouvera des caractéristiques hydrologiques proches de celles du milieu marin.

3.1. Caractéristiques hydrologiques à proximité de l'embouchure

Aux bouées Roustan, situées à 1 mille au Sud de l'embouchure du Grand Rhône, les salinités sont faibles, le plus souvent comprises entre 0 et 10 ‰ selon la saison et le débit du fleuve. Exceptionnellement, en cas de situation de fort Mistral, qui a pour effet d'accélérer le mélange des eaux, on pourra y observer des valeurs un peu plus élevées. La charge particulaire y est toujours très élevée (50 à 100 mg/l), la turbidité très forte et les eaux présentent une couleur marron foncée. Les teneurs en sels nutritifs sont importantes, surtout en ce qui concerne les nitrates (60 à 130 µatg/l) et les silicates (30 à 60 µatg/l). Les concentrations en phosphates sont plus restreintes (2 à 5 µatg/l).

3.2. Effets de la dilution

L'extension géographique de la nappe est très variable, et dépend de l'action combinée de plusieurs facteurs physiques. Les fluctuations de l'allure et de la superficie de la nappe ont été étudiées au moyen de la télédétection (DEMARCQ, 1985). Selon le grand axe longitudinal, le panache peut s'étendre sur plusieurs dizaines de km ; les dimensions de l'axe latéral sont beaucoup plus réduites (3 à 6 km selon le débit, les conditions de vent et de la saison). Mais là également, les fluctuations sont très rapides.

Les particules et les éléments nutritifs dissous ou adsorbés se répartissent dans le milieu selon une relation linéaire simple, traduisant la prépondérance des phénomènes physiques au sein de la nappe en ce qui concerne le devenir des composés qu'elle contient. A partir de 41 prélèvements réalisés en saison «froide» (température de l'eau de mer comprise entre 12 et 19°C), on peut établir les relations linéaires suivantes :

$$[N\text{-}NO3] = -3.64(S) + 131{,}18 \qquad r = -0.99$$

$$[N\text{-}NO2] = -0.36(S) + 1.64 \qquad r = -0.86$$

$$[P\text{-}PO4] = -0.14(S) + 5.27 \qquad r = -0.98$$

$$[Si\text{-}SiO3] = -1.61(S) + 64.60 \qquad r = -0.95$$

Sur les diagrammes salinité-sels nutritifs (Figure 4), on peut différencier 4 zones, en fonction de la salinité :

— $37 < S < 38.2$: eau marine, aux teneurs en éléments nutritifs très faibles,

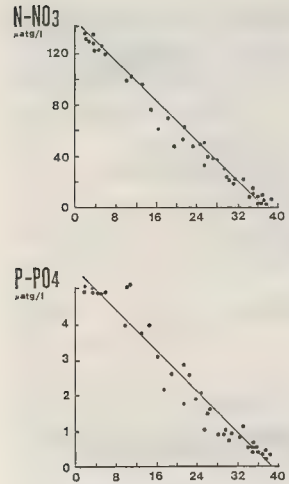


FIG. 4. — Diagramme salinité-nitrates et salinité-phosphates (41 prélèvements)

— $31 \leq S < 37$: eau issue du golfe de Fos, avec des concentrations fortes lorsqu'il n'y a pas de développement phytoplanctonique, faibles en cas de productivité plus marquée. .

— $10 < S < 31$: eau du panache proprement dite, aux teneurs d'autant plus élevées que le mélange est faible,

— $0 < S < 10$: eau du fleuve à proximité de l'embouchure, avec des concentrations très élevées : on retrouve les valeurs observées par les auteurs ayant travaillé sur le fleuve (COSTE, 1974).

3.3. Transects hydrologiques dans la nappe du Rhône

La réalisation de profils latéraux et longitudinaux selon les 2 axes principaux du panache rhodanien permet de mettre en évidence une zonation spatiale dont on retrouve les grandes lignes inchangées quelle que soit la saison. En effet, seule leur importance relative varie en fonction des conditions de débit et de vent

Selon un transect Est-Ouest, on observe, en surface (Figure 5) :

— une zone homogène, aux caractéristiques marines (eau de type liguro-provençal), jusqu'au droit du cap Couronne (eaux bleues).

— une zone moins homogène, plus dessalée, plus turbide et riche en éléments nutritifs, correspondant aux eaux du golfe de Fos (eaux vertes) ; selon les conditions de vent et de turbinage de la Durance dans l'étang de Berre, une nappe d'eau qui en est issue peut s'individualiser sur une distance assez importante (eaux marron).

— un front marqué, séparant les eaux du golfe de Fos au Nord, et les eaux liguro-provençales au Sud des eaux du fleuve. Cette limite est parfois ténue, avec un passage insensible d'une masse d'eau à l'autre : les gradients sont dans ce cas peu marqués. Dans la plupart des situations, la salinité chute brutalement, la turbidité augmente tout aussi brutalement, et les teneurs en éléments nutritifs atteignent des valeurs très importantes sur quelques mètres.

— la nappe du fleuve en mer proprement dite, très dessalée, turbide (eaux marron), dont l'homogénéité est fréquemment détruite par l'intrusion d'eau typiquement marine : ce phénomène est à relier d'une part aux ondes internes qui se propagent dans le milieu, provoquant des résurgences d'eau sous-jacente, et aux variations rapides et brutales du débit du fleuve, en conjonction avec les marées. Ces fluctuations sont de très grande amplitude, mais demeurent limitées dans l'espace : on passe en quelques mètres de l'eau du Rhône à celle de la couche marine sous-jacente, puis à nouveau dans l'eau du Rhône.

— un front marqué (parfois moins que le front oriental), séparant les eaux de la nappe de dilution de celles du Golfe du Lion.

— une zone homogène, aux caractéristiques marines (type Golfe du Lion). En cas de vent d'Ouest violent, ces eaux superficielles peuvent être remplacées par des eaux plus profondes, amenées en surface par la remontée d'eau observée le long du littoral de Camargue (MILLOT, 1979).

Selon un transect Nord-Sud, on remarque un gradient plus ou moins régulier à partir des eaux du fleuve au Nord et une dilution plus ou moins rapide avec les eaux marines du Golfe du Lion ou de la dérive Liguro-provençale, formant le panache propement dit, et dont les limites sont de moins en moins tranchées avec l'éloignement de l'embouchure.

LE GRAND RHÔNE ET SON PANACHE DE DILUTION : PRODUCTIVITÉ PRIMAIRE

La forte charge nutritive amenée par les eaux du Rhône se traduit par une forte potentialité de production (COSTE, 1974 ; FRELIE, 1985). Mais plusieurs facteurs vont se conjuguer pour limiter le développement de l'échelon primaire dans le domaine côtier, et faire de la nappe de dilution rhodanienne une masse paradoxalement oligotrophe, comparéee à ce qui est observé au sein des secteurs adjacents :

— la couche superficielle est très turbide, ce qui limite considérablement la photosynthèse,

— les turbulences sont souvent importantes (remous à proximité de l'embouchure, vents violents et fréquents),

— le panache est dessalé, et le mélange progressif : les espèces phytoplanctoniques d'eau douce vont se trouver rapidement défavorisées, tandis que les espèces marines ne rencontreront pas encore de conditions favorables à un important développement,

— la dilution est assez rapide, et les teneurs en éléments nutritifs, particulièrement en phosphate, chutent assez vite.

Sur l'ensemble golfe de Fos-panache du Rhône, on pourra

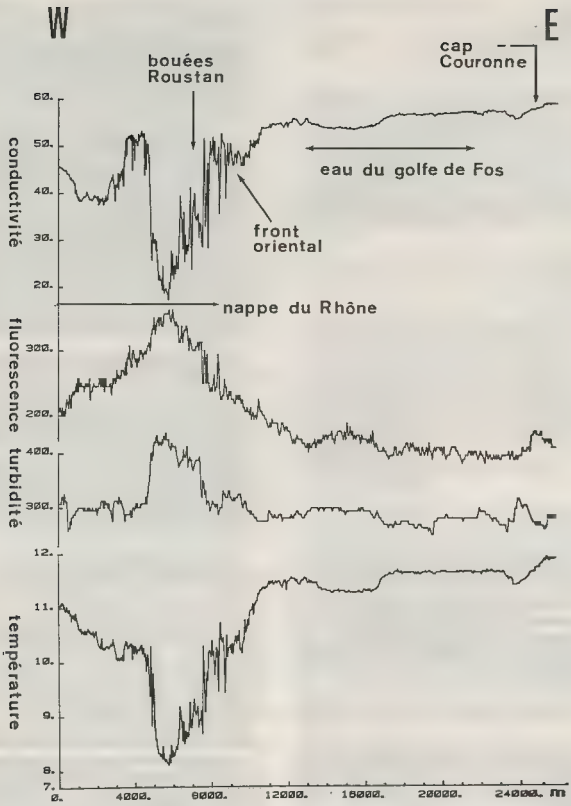


FIG. 5. — Transect hydrologique Cap Couronne-bouées de Roustan, réalisé le 6 mars 1984.

distinguer 3 types d'eau, en fonction de leur salinité et de leurs teneurs respectives en éléments nutritifs et en pigments chlorophylliens (Figure 6) :

— les eaux du large, au Sud du Golfe de Fos et à la périphérie de la nappe de dilution ; salées (36.5 ≤ S ≤ 38.2‰), pauvres en sels nutritifs (0 ≤ N-NO3 ≤ 5 µatg/l) et en pigments (0 ≤ pigments ≤3µg/l),

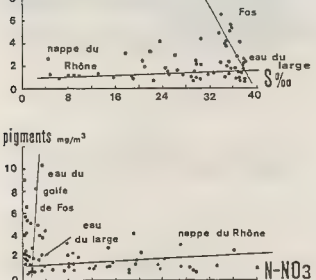


FIG. 6. — Relations pigments chlorophylliens-salinité et pigments chlorophylliens-nutrates (41 prélèvements).

— Les eaux du panache proprement dit, dessalées (0 ≤ S ≤ 10‰), très riches en éléments nutritifs (50 ≤ N-NO3 ≤ 130 µatg/l), mais également oligotrophes (0 ≤ pigments ≤3µg/l),

— les eaux du golfe de Fos, à salinité variable (28 ≤ S ≤ 37‰), souvent appauvries en sels nutritifs (0 ≤ N-NO3 ≤ 10µatg/l), mais plutôt eutrophes (3 ≤ pigments ≤ 12µg/l) : les développements phytoplanctoniques sont alors à l'origine des faibles concentrations en éléments nutritifs que l'on y observe.

Cette situation existe au cours de la saison froide : la production primaire ayant pour origine l'arrivée massive de nitrates et de phosphates en mer semble se développer beaucoup plus au Sud (DEMARCQ, 1985 ; FREIJE, 1985), quand :

— la turbidité a considérablement baissé et la salinité retrouvé des valeurs plus typiquement marines,

— la turbulence est plus réduite avec l'éloignement de la côte.

Cet effet de retard est également lié au temps nécessaire au phytoplancton pour se développer et atteindre des effectifs significatifs, de l'ordre du million de cellules au litre (ordre de grandeur à proximité de l'embouchure : 10^4 à 10^5 cell/l, BEKER, 1986). Paradoxalement, la zone côtière du littoral provençal ne bénéficie donc pas directement de l'enrichissement lié aux apports du fleuve, qui se manifeste plutôt au large, dans le Golfe du Lion.

On ne pourra observer de développements phytoplanctoniques importants dans cette région qu'en cas de rabattement des eaux du large vers la côte : il faudra alors différencier cet effet indirect de l'enrichissement potentiel qui ne se produit pas : le Rhône ne rend pas eutrophe la zone côtière qu'il enrichit pourtant en sels nutritifs. Dans cette région, le principal site eutrophe est l'étang de Berre, et, secondairement, le golfe de Fos qui bénéficie de conditions particulières. Les conséquences biologiques de l'arrivée des eaux continentales en mer s'observent donc à plusieurs dizaines de milles au Sud du littoral, et plusieurs jours après leur déversement : les eaux du large sont directement enrichies par le Rhône.

CONCLUSION

Les eaux continentales arrivant au Nord-Est du Golfe du Lion vont enrichir le milieu marin en éléments nutritifs. En raison de la turbulence côtière (en particulier celle liée au vent) et des conditions locales (turbidité élevée, salinité très fluctuante), cet apport ne provoque pas directement d'importants développements de l'échelon primaire. Le panache rhodanien conserve donc une certaine intégrité assez loin de l'embouchure, quand les conditions de force et de direction du vent le permettent. La dilution des éléments nutritifs est rapide, et la productivité de cette masse d'eau limitée. Ce n'est qu'à la périphérie du panache, quand les conditions hydrologiques se stabilisent, que l'on pourra observer des développements phytoplanctoniques significatifs.

BIBLIOGRAPHIE

ALLAIN (C.), 1960. — Topographie dynamique et courants généraux dans le bassin occidental de la Méditerranée (golfe du Lion, mer Catalane, mer d'Alboran et ses abords, secteurs à l'Est de la Corse). *Rev. Trav. Inst. Pêches Marit.*, 24, 121-145.

ALLAIN (C.) et FURNESTIN (J.), 1969. — Hydrologie de la Méditerranée occidentale (secteur méridional et Golfe du Lion) en automne 1963. Campagne de la «Thalassa» du 12 octobre au 27 novembre. *Rev. Trav. Inst. Pêches Marit.*, 33, 5-78.

ARFI (R.), 1980. — Exemples d'application de la télédétection (thermographie IR) à un suivi écologique (golfe de Fos, France). *Ves Journées Etud. Pollutions*, Cagliari, CIESM : 963-973.

BEKER (B.), 1986. — *Communautés phytoplanctoniques en milieu côtier à salinité variable (étang de Berre, golfe de Fos).* Doct. Recherche Universitaire, Univ. Aix-Marseille II, 114 pp

BELLUAU (M.), 1986. — Mesure en continu de descripteurs océanographiques : un système automatique embarquable sur un petit navire côtier. *In : Evaluation et optimisation des plans d'échantillonnage en écologie littorale*, S. Frontier éditeur, 157-161

BLANC (F.) et LEVEAU (M.), 1973. — *Plancton et eutrophi · aire d'épandage rhodanienne et golfe de Fos (traitement mathématique des données).* Thèse Doct. ès Sciences, Univ. Aix-Marseille II, 681 pp.

BRUN (G.), 1967. — Étude écologique de l'estuaire du Grand Rhône. *Bull. Inst. océanogr.*, 66, (1371), 46 pp.

CHAMPALBERT (G.), 1975. — *Répartition du peuplement animal de l'hyponeuston. Étude expérimentale de la physiologie et du comportement des Pontellidés.* Thèse Doct. ès Sciences, Univ. Aix-Marseille II, 312 pp.

COSTE (B.), 1971. — *Circulation et évolution de composés de l'azote et du phosphore (en particulier des sels nutritifs) dans le bassin occidental de la Méditerranée. Influence sur la production organique.* Thèse Doct. ès Sciences, Univ. Aix-Marseille II, 256 pp.

COSTE (B.), 1974. — Rôle des apports nutritifs minéraux rhodaniens sur la production organique des eaux du Golfe du Lion. *Téthys*, 6, 727-740.

DEMARCQ (H.), 1985. — *Application de la télédétection infrarouge et visible en océanographie. Étude de la zone de dilution rhodanienne, observations des zones de production dans le golfe du Lion et estimation de l'éclairement solaire global en Méditerranée occidentale.* Thèse 3ème cycle, Univ. Aixx-Marseille II.

DEMARCQ (H.) et WALD (L.), 1984. — La dynamique superficielle du panache du Rhône d'après l'imagerie infrarouge satellitaire. *Oceanologica Acta*, 7, (2), 159-163.

FIEUX (M.), 1972. — *Contribution à l'étude hydrologique et dynamique du golfe du Lion en période hivernale.* Thèse 3ème cycle, Univ. Paris VI, 90 pp.

FREIJE (H.), 1985. — *Étude de la production primaire en période estivale dans le golfe du Lion.* Thèse 3ème cycle, Univ. Aix-Marseile II, 124 pp

FURNESTIN (J.), 1960. — Hydrologie de la Méditerranée occidentale (golfe du Lion, mer Catalane, mer d'Alboran, Corse orientale), juin-juillet 1957. *Rev. Trav. Inst. Pêches Marit.*, 24, 453-480

FURNESTIN (J.) et ALLAIN (C.), 1962. — Hydrologie de la Méditerranée occidentale au nord du 42ème parallèle en automne 1958 (campagne du navire «Président Théodore Tissier» du 27 septembre au 18 octobre 1958. *Rev. Trav. Inst. Pêches Marit.*, 26, p. 133-161.

KIM (K.T.), 1979. — *Le phytoplancton de l'étang de Berre : composition spécifique, biomasse et production. Relations avec les facteurs hydrologiques, les cours d'eau afférents et le milieu marin voisin (Méditerranée nord-occidentale).* Thèse Doct. ès Sciences, Univ Aix-Marseille II, 243 pp.

MILLOT (C.), 1979. — Wind induced upwelling in the gulf of Lions. *Oceanologica Acta*, 2, (3), 261-274.

MINAS (H.J.), 1968. — *Recherches sur la production organique primaire dans le bassin méditerranéen nord-occidental. Rapports avec les phénomènes hydrologiques* ." Thèse Doct. ès Sciences, Univ. Aix-Marseille II, 227 pp.

TOURNIER (H.), 1967. — Aspects hydrologiques du golfe du Lion en hiver. *Rev. Trav. Inst. Pêches Marit.*, 31, 339-342.

Bull. Ecol, t. 18, 2, 1987, p. 131-133

LE PHOSPHATE DU RHÔNE ET SON DÉCHARGEMENT DANS LE GOLFE DU LION

par H. EL-HABR et H.L. GOLTERMAN

Station biologique de la Tour du Valat, le Sambuc — 13200 ARLES — France —

MOTS-CLÉS : Rhône - Golfe du Lion - Charge en phosphate.

RÉSUMÉ

Des mesures de Ca, HCO_3, CO_3, du pH, de la température et du phosphate le long du Rhône, au cours du cycle saisonnier, permettent de comprendre la dynamique des apports de phosphate dans le Golfe du Lion.

INTRODUCTION

Dans une série d'articles, GOLTERMAN et MEYER (1985 a, b, c, d) ont analysé des données sur 15 paramètres physico-chimiques dans le Rhin et dans le Rhône publiés respectivement par la commission internationale pour la protection du Rhin contre la pollution et par l'annuaire de la qualité des eaux. Une synthèse de ces articles a été publiée par GOLTERMAN (1985).

La banque de données sur le Rhône ne contenant pas de données sur la concentration du phosphate total, celle-ci a été régulièrement mesurée en aval d'Arles dans le cadre de nos travaux sur la Camargue (EL-HABR & GOLTERMAN, 1987). Cela nous a permis de calculer la relation entre le phosphate et le débit du Rhône dans cette région, relation essentielle pour le calcul de la charge totale de la Camargue et du Golfe du Lion.

Dans cet article nous considérons la conséquence de la géochimie du Rhône spécialement du point de vue charge de phosphate dans le Golfe du Lion. En plus étant donné que la chimie du phosphate dans les fleuves d'eaux dures dépend fortement des concentrations en Ca, HCO_3 et CO_3, du pH et de la température, ces variables sont également prises en considération dans cet article.

MÉTHODES

Les données sur 15 parmètres physico-chimiques ont été obtenues de la Commission Internationale pour la Protection du Rhin contre la Pollution (1971-1979) pour le Rhin et de l'Annuaire de la Qualité des Eaux (1975-1981) pour le Rhône. Ces données sont stockées dans notre banque de données RRque. Sur chacun des deux fleuves7 stations sont choisies, une en amont du lac de Constance (Rhin), une en amont du lac de Genève (Rhône) et 6 à distances croissantes vers les deux deltas. Pour plus de détails voir GOLTERMAN (1985).

KEY-WORDS : Rhône river - Golfe du Lion - Phosphate load.

SUMMARY

The phosphate in the Rhône River and its imput in the Golfe du Lion

Measures of Ca, HCO_3, CO_3, pH, temperature and phosphate along the Rhône River and during the year cycle allow to understand the dynamics of phosphate imput in the Golfe du Lion.

VARIATIONS DANS LE TEMPS ET DANS L'ESPACE

En amont du lac de Genève (Port-du-Scex) la concentration du Ca varie selon un modèle saisonnier distinct (Fig. 1) entre 1.5 et 2,5 meq.l^{-1}. Nous avons montré que ces variations peuvent être expliquées par la variation de la température et son influence sur la solubilité du CO_2 et le produit de solubilité du $CaCO_3$.

En allant vers l'aval on peut voir la disparition progressive de cette variabilité et une augmentation importante de la concentration du Ca. A Tarascon (Fig. 1) la concentration du Ca est à peu près 2 à 3 fois plus élevée que dans la situation naturelle en équilibre avec l'air. Le pH montre le même changement : variation saisonnière à Port-du-Scex et une acidification progressive avec des valeurs de pH entre 7 et 7,5 à Tarascon. Cette acidification est dûe à la minéralisation de la matière organique.

Les sulfates montrent une variation saisonnière à Port-du-Scex dûe à la variation du débit. A Port-du-Scex il y a une forte corrélation linéaire, négative, avec le débit entre 0,5 et 2 mmol.l^{-1}. A Collonges, en aval du lac de Genève, la concentration est à peu près constante autour de 1 mmol.l^{-1}. A Tarascon il y a une faible corrélation linéaire négative avec le débit jusqu'à environ 1.000 $m^3.sec^{-1}$; par contre, à débit plus élevé, la concentration des sulfates reste constante.

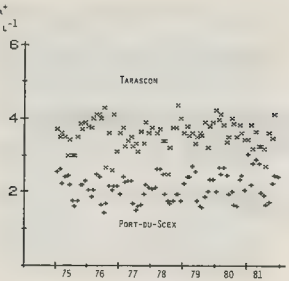


FIG. 1. — Variation saisonnière du Calcium à Tarascon et Port-du-Scex.

GOLTERMAN et MEYER (1985 c) ont montré l'importance de la concentration des sulfates dans la variation de la concentration du Ca. Ils ont montré que le rapport Ca/HCO_3, qui, dans les conditions d'équilibre naturel, doit être autour de 1 (en meq.l^{-1}), augmente avec la concentration des sulfates suivant la relation suivante :

$$Ca/HCO_3 = 0.5\ (SO_4) + 1$$

(les concentrations sont en meq.l^{-1}). Cette relation est la description mathématique théorique du système dans lequel on ajoute le $CaSO_4$ à une solution saturée de $Ca(HCO_3)_2$. Donc l'addition du $CaSO_4$ change la concentration de Ca dans le Rhône et finalement cause aussi un changement dans la concentration du phosphate.

GOLTERMAN et MEYER (1985 b & d) ont montré que le Rhône est sursaturé vis-à-vis du $CaCO_3$, à Tarascon jusqu'à 4-5 fois. Ils ont montré que la supersaturation en $CaCO_3$ est fortement liée au pH : l'augmentation du pH cause celle de la supersaturation selon l'équation suivante :

$$IP_{Ca} = 8.73 \times 10^{-15} \times pH^{15.667}$$

Par ailleurs, ils ont trouvé que ces deux fleuves à eaux dures, le Rhin et le Rhône, sont saturés vis-à-vis de l'hydroxiapatite $Cas(PO_4)_3\,OH$. Le produit de solubilité qui jusqu'alors montrait une incertitude entre 10^{-50} et 10^{-57}, ils ont calculé, pour le Rhin une constante de solubilité (= $-\log IP_{AP}$) de 49.9 ($\sigma = 0.6$; n = 259) et pour le Rhône de 50.0 ($\sigma = 0.3$; n = 479).

Cela montre que probablement une grande partie du Phosphate particulaire, qui dans le Rhin peut varier entre 50 et 100 % de la valeur de la concentration de l'o-Phosphate, est en suspension comme apatite. Cela veut dire que la concentration de l'o-Phosphate n'est pas seulement déterminée par sa charge, mais par la concentration du Ca, du H^+ et de la température, et à travers la concentration du Ca par la concentration en sulfates.

La solubilité de l'o-Phosphate et sa dépendance vis-à-vis de la concentration du calcium et du pH peut être calculée par la relation suivante :

$$o\text{-}PO_4 = \left(1 + \frac{H^+}{K_3} + \frac{(H^+)^2}{K_2K_3}\right) \sqrt[3]{\frac{10^{-50} \times (H^+)}{(Ca^{2+})^3 \cdot Kw}}\ \text{mol.l}^{-1}$$

LA CONCENTRATION DU PHOSPHATE DANS LE DELTA

EL-HABR et GOLTERMAN (1987) ont mesuré les concentrations de l'o-Phosphate et du Phosphate particulaire dans le Rhône à Tarascon en 1984 et 1985 :

	Concentration			Charge
	Moy	Min	Max	
	mg/l	mg/l	mg/l	t/an
o-Phosphate	0.14	0 08	0.21	7000
Phosphate-part.	0.06	0 01	0.17	3100

De ce tableau on peut voir que 70 % de la charge du phosphate total, qui entre dans le Golfe du Lion, est sous forme dissoute alors que 30 % est sous forme particulaire.

EL-HABR et GOLTERMAN (1987) ont montré qu'il y a une corrélation négative entre l'o-phosphate et le débit (Fig. 2 ; $r = 0.62$, $p < 0.01$; $n = 27$). Cette corrélation négative est explicable par l'effet de dilution des éléments nutritifs avec l'augmentation du débit et son influence sur le pH, la concentration du Ca et la température.

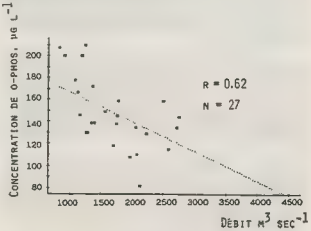


FIG. 2. — Relation entre l'o-phosphate et le débit du Rhône.

Ils ont aussi montré une corrélation positive entre le phosphate particulaire et le débit (Fig. 3 ; $r = 0.84$; $p < 0.01$; $n = 28$). Cette corrélation positive est dûe à l'augmentation de la concentration de la matière en suspension avec l'augmentation du débit.

Ces deux figures (2 et 3) montrent que les régressions sont

fortement influencé par le dernier point (grande crue) ; pour cela l'analyse a été répétée sans ce point et les résultats obtenus ont montré les mêmes corrélations statistiquement significatives.

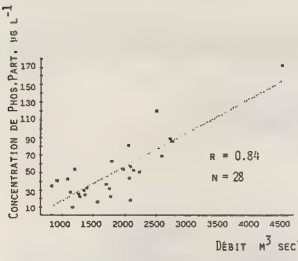


FIG. 3. — Relation entre le phosphate particulaire et le debit du Rhône.

LA SITUATION DANS LE GOLFE DU LION

Quand l'eau entre dans le Golfe du Lion, un équilibre s'instaure en un premier lieu entre le CO_2 dans l'eau et le CO_2 dans l'air. En conséquence le pH augmente, et comme la concentration du Ca est beaucoup plus élevée que dans une situation de non équilibre, une grande quantité de $CaCO_3$ va précipiter. Cette précipiation peut s'élever jusqu'à 2 meq.l^{-1}, donc jusqu'à 100 g.m^3 et pour un volume total de 50 km^3 par an d'eau qui entre dans le Golfe du Lion cette précipitation s'élève à :

$$100 \times 50 \times \frac{10^9}{10^6} = 5 \times 10^6 \text{t.an}^{-1}$$

La même chose se passe pour l'o-Phosphate. La plus grande partie du phosphate dans l'eau du Rhône est transportée comme o-Phosphate, à cause du pH qui est relativement bas. Toutefois quand la valeur du pH augmente, valeur qui, dûe à la photosynthèse, dépasse bien la valeur d'équilibre de 8.2, presque la totalité de l'o-Phosphate co-précipitera avec le $CaCO_3$ décrit plus haut.

Cela signifie que l'o-Phosphate ne suit pas la distribution hydrologique tout au long du Golfe du Lion comme c'est le cas pour l'eau, mais plutôt se comporte comme les particules. De ce fait, sa distribution va largement suivre la distribution de la taille des grains, comme l'ont démontré les travaux de ADDED *et al* (1983).

Nous pensons que cette co-précipitation explique l'absence du «red tide», qui n'a jamais été signalée dans le delta du Rhône, contrairement au delta du Pô. Cet argument est renforcé par le fait que les nitrates arrivent sous forme dissoute, en période de grand débit, et donc sont transportés loin dans le Golfe du Lion. Par conséquent, une divergence apparaît entre l'apport du Phosphate et celui de l'azote.

BIBLIOGRAPHIE

ADDED (A.), FERNEX (F.), RINGOT (J.L.) & SPAN (D.), 1983. — Caractères sédimentologiques et géochimiques du plateau continental devant l'embouchure du Grand Rhône. *In :* Etudes sédimentologiques et géochimiques entre Rhône et Corse. *Pétrole et Techniques* n 300, Août-Septembre 1983. (Programme ECOMED)

ANNUAIRE DE LA QUALITÉ DES EAUX. — Rvvères et Canaux, 1976-1981, vol. VI, Agence de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse

COMMISSION INTERNATIONALE POUR LA PROTECTION DU RHIN CONTRE LA POLLUTION. *Tableaux numériques*, 1971-1979.

EL-HABR (H.), GOLTERMAN (H L.), 1987. — Input of nutrients and suspended matter into the Golfe du Lion and the Camargue by the river Rhone. *Revue de Sciences de l'eau*, sous-presse

GOLTERMAN (H L.), 1985. — The geochemistry of the Rhne and the Rhone. 5, Synthesis and conclusions. *Annales de Limnologie*, 21 (3), 191-201.

GOLTERMAN (H L.) & MEYER (M.L.), 1985 a. — The geochemistry of two hard water rivers, the Rhine and the Rhone. Part 1 : Presentation and screening of data. *Hydrobiologia*, 126, 3-10.

GOLTERMAN (H.L.) & MEYER (M.L.), 1985 b. — The geochemistry of two hard water rivers, the Rhine and the Rhone. Part 2 : The apparent solubility product of calcium carbonate. *Hydrobiologia*, 126, 11-19

GOLTERMAN (H L.) & MEYER (M L.), 1985 c. — The geochemistry of two hard water rivers, the Rhine and the Rhone. Part 3 : The relations between calcium, bicarbonate, sulphate and pH. *Hydrobiologia*, 126, 21-24.

GOLTERMAN (H L.) & MEYER (M.L.), 1985 d. — The geochemistry of two hard water rivers, the Rhine and the Rhone Part 4 : The apparent solubility product of hydroxy-apatite. *Hydrobiologia*, 126, 25-29

Bull. Ecol., t. 18, 2, 1987, p 135-144

INFLUENZA DEL PO SUL SISTEMA PELAGICO DELL'ADRIATICO

par Mario SPECCHI e Serena FONDA UMANI

Dipartimento di Biologia - Università di Trieste
via Valerio, 32 — TRIESTE — Italia

KEY-WORDS : Po River, Adriatic Sea - Hydrology - Pelagic ecosystem.

RIASSUNTO

La struttura idrologica dell'Adriatico é fortemente influenzata dal Po e dagli altri corsi d'acqua del sistema padano e da quelli provenienti dall'Appennino. Durante la stagione fredda, in regime d'omeotermia, si instaura lungo tutta la costa italiana un sistema frontale, che separa nettamente le acque costiere da quelle del largo ; mentre in situazione estiva di stratificazione delle masse d'acqua, altre a quelle superficiali di provenienza fluviale, si possono distinguere diversi nuclei profondi derivati da acque di provenienza meridionale - orientale o da acque residue. Entrambe queste configurazioni idrologiche sono correlabili a particolari strutture del sistema pelagico adriatico.

In generale i popolamenti pelagici dell'Adriatico presentano un gradiente di eurivalenza crescente da Sud verso Nord e dal largo verso costa, variabile in rapporto alle caratteristiche strutturali delle masi d'acqua. A ciò si deve aggiungere un incremento della biomassa con andamento simile e particolarmente evidente nella zona maggiormente influenzata dagli apporti del Po. Infatti nelle plume del Po sia i popolamenti fitoplanctonici, costituiti essenzialmente da Microflagellati e piccole Diatomee, che quelli zooplanctonici, paucispecifici, con dominanza quasi assoluta del Copepode Acartia clausi, presentano i più alti valori di densità numerica di tutto il bacino.

Agli alti tassi di produzione primaria e secondaria della zona costiera dell'Alto Adriatico corrisponde una rilevante presenza di pesce pelagico

SUMMARY

The influence of the Po River on the pelagic system of the Adriatic Sea

The hydrological structure of the Adriatic Sea is greatly influenced by the river Po and by the other rivers running in its plain as well as by the rivers coming from the Appenns.

During the cold season, under omeothermic conditions, a frontal sea system develops so as to clearly separate the coastal waters from the off shore ones ; in summer time instead, when the water masses are stratified, various deep layers of souther, western or summer remaining waters can be found including the surface waters of rivers. These two hydrological systems are both linked to particular structures of the pelagic system of the Adriatic Sea.

Generally speaking the pelagic populations of the Adriatic Sea present an eurvalency rate rising northwards and from the open sea towards the coast. This rate varies according to the structural characteristics of the water masses.

This increase in the eurvalency rate is accompanied by a parallel increase of the biomass which is particularly striking in the area mostly influenced by the Po inputs.

In fact, in the Po plume, both the phytoplankton poopulations, mainly composed of Microflagellates and small Diatoms, and the paucispecific zooplanktonic populations, in which the Copepode Acartia clausi prevails, are the most abundant populations in the whole basin

A remarkable presence of pelagic fish corresponds to high rates of primary and secondary production along the coast of the Northern Adriatic Sea.

INTRODUZIONE

Il mare Adriatico è un bacino relativamente stretto ed allungato che si estende in direzione Nord Ovest - Sud Est e che presenta le massime larghezze all'altezza delle congiungenti Pescara — Spalato e Manfredonia — Cattaro e che comunica con lo Jonio attraverso il canale d'Otranto.

In base alla batimetria ed alla morfologia dei fondali si distinguono tre aree : quella Settentrionale a Nord della congiungente Pescara — Sebenico, quella Centrale tra questa congiungente e la linea Gargano — Cattaro ed infine quella Meridionale a Sud della linea precedente sino allo stretto d'Otranto.La prima di queste aree è caratterizzata da fondali bassi e dolcemente digradanti dal Golfo di Trieste, (profondità 20 m), sino alla profondità di 100 m (Fig. 1). A livello della congiungente Pescara — Sebenico il fondale si abbassa bruscamente dai 100 ai 280 m della fossa di Pomo (fossa del Medio Adriatico) ; contemporaneamente si osserva un cambiamento della natura e della morfologia dei fondali.

A Sud della linea Gargano — Cattaro il fondale raggiunge la profondità massima di 1.250 m in corrispondenza della fossa del Basso Adriatico ; a livello dello stretto d'Otranto il fondale risale fino a circa 800 m.

La costa adriatica orientale da Trieste all'Albania è generalmente rocciosa, a picco sul mare, con numerose isole ed insenature (vallon).

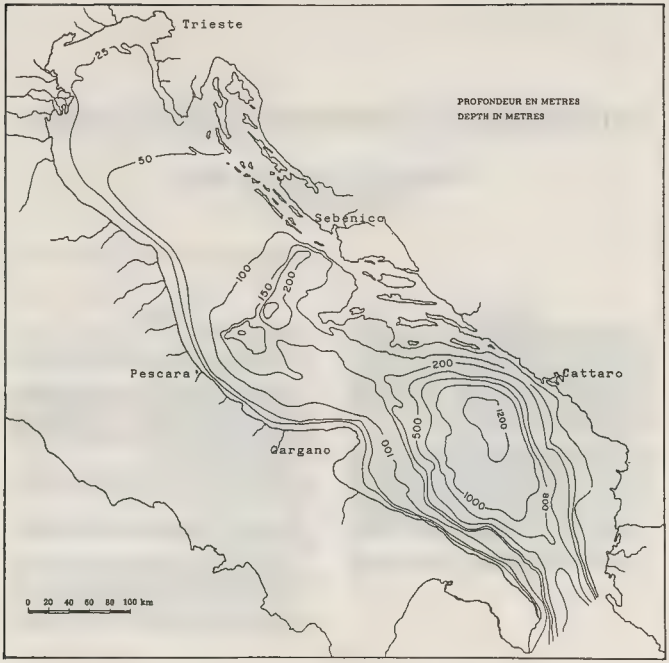


FIG. 1. — Batimetria dell'Adriatico.

La costa occidentale invece è generalmente bassa e sabbiosa da Trieste al Gargano con l'eccezione dei promontori rocciosi di Gabicce e del Conero. A Sud di Vieste e fino ad Otranto la costa è alta e rocciosa.

I fondali costieri occidentali a Nord di Giulianova degradano dolcemente verso il largo, mentre più a Sud e lungo tutta la costa orientale, in linea di massima, essi hanno pendenza rilevante.

Attraverso la soglia d'Otranto, come si è detto, si verificano gli scambi tra l'Adriatico ed il Mediterraneo. Un afflusso continuo di acqua proveniente dal bacino orientale del Mediterraneo dà origine alla corrente dalmato — istriana che, lambendo la costa orientale, giunge fino al Golfo di Trieste

In uscita invece esiste una corrente con origine nel bacino settentrionale adriatico che defluisce lungo tutta la costa italiana. Questa corrente ha intensità e caratteristiche variabili con la stagione, dipendendo essenzialmente dagli apporti di acque dolci e dalle temperature del bacino settentrionale. L'intensità delle correnti adriatiche, sia in entrata che in uscita, possono essere condizionate anche dall'azione dei venti dominanti. In periodo invernale inoltre si strabilisce una corrente profonda che risale dal bacino meridionale verso quello settentrionale.

POPOLAMENTI FITOPLANCTONICI DELL'ADRIATICO

REVELANTE e GILMARTIN (1977) suddividono la parte meridionale del bacino settentrionale e il Medio Adriatico in tre zone distinte a seconda dei loro popolamenti algali

— un popolamento occidentale, tipico di acque diluite caratterizzato da una quasi assoluta dominanza di Diatomee ; tra queste prevalgono *Nitzsch seriata, Chaetoceros danicus* e *Rhizosolenia fragilissima* ; in quest'area inoltre viene segnalata un'alta biomassa di Microflagellati, tipica di acque diluite.

— un popolamento orientale nel quale predominano sempre le Diatomee (*N. seriata, N. longissima, R. alata* forma *gracillima, Thalassiotrix frauenfeldii, Thalassionema nitzschoides Leptocilindrus danicus*) ma acquistano una certa importanza le Dinoficee (*Ceratium* sp. p.) ed alcune Coccolitoforoidee.

— un popolamento della zona centrale in cui, pur essendo sempre prevalenti le Diatomee (*R. alata* forma *gracillima, T. frauenfeldii, T. nitzschoides*) acquistano una maggiore importanza le Dinoficee e le Coccolitoforoidee, la cui presenza secondo PUCHER-PETKOVIC (1966) sarebbe limitata ad acque con caratteristiche mediterraneo - ioniche. Questi organismi quindi rivestirebbero un ruolo di indicatori idrologici. L'Autrice associa alle masse d'acqua di origine mediterranea che penetrano, in misura variabile, nel Basso e nel Medio Adriatico forme «oceaniche» appartenenti alle Diatomee.

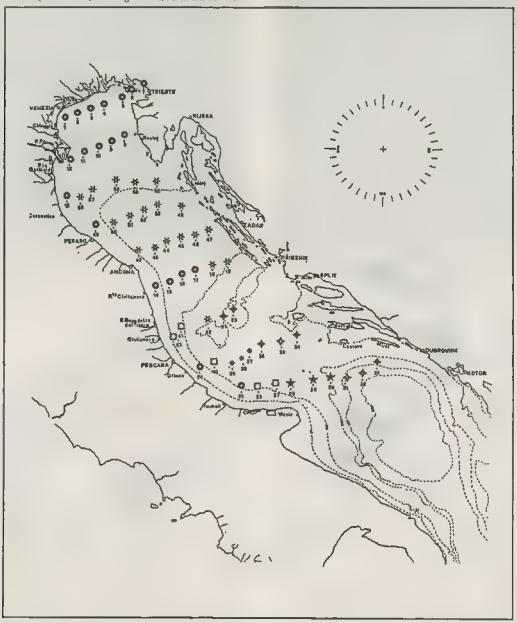


FIG. 2. — Distribuzione dello zooplancton da rete nell'Alto e Medio Adriatico nel settembre 1977. I simboli indicano sei diversi raggruppamenti ottenuti mediante la cluster analyses (da Fonda Umani, Milani e Specchi, 1985).

I popolamenti della zona costiera orientale, sempre secondo la stessa Autrice sono invece caratterizzati da forme strettamente neritiche, spesso ticopelagiche.

POPOLAMENTI ZOOPLANCTONICI DELL'ADRIATICO

Nella parte centrale, ma sopratutto in quella meridionale dell'Adriatico,la comunità zooplanctonica è stabile, caratteristicamente di altura — e quindi con prevalente componente oloplanctonica — ed è contraddistinta da un'elevata diversità specifica. Mano a mano che si passa agli ambienti più severi dell'Alto Adriatico e della costa italiana la comunità diventa tipicamente neritica ed è caratterizzata, per quanto riguarda la componente oloplanctonica, da bassa diversità specifica ; in essa inoltre è ben rappresentata la componente meroplanctonica.

Quanto sopraesposto trova conferma in un recente lavoro di FONDA UMANI e al. (1985) i quali, analizzando la composizione dello zooplancton da rete a Nord della trasversale Gargano - Cattaro,individuano tre distinte aree in base alla sua distribuzione.

1) la prima a Nord della trasversale Po - Rovigno, tipicamente neritica, con elementi costieri ed estuarini ; essa si prolunga lungo la costa italiana fino quasi al Gargano ;

b) una zona intermedia centrale, compresa essenzialmente tra le trasversali Po — Rovigno e Porto Civitanova — Sibenik, con elementi del largo ;

3) una zona meridionale, dove i popolamenti presentano una fisionomia notevolmente diversa da stazione a stazione. Malgrado ciò, tuttavia vi si può intravvedere agevolmente l'evoluzione della comunità da neritica ad oceanica con progressiva comparsa delle classiche forma d'altura, mano a mano che si procede verso Sud e verso il largo (Fig. 2).

Per quanto riguarda la frazione rappresentata dai soli Copepodi HURÉ, IANORA e SCOTTO DI CARLO (1980) notano che essa è esclusivamente «oceanica» nella parte più meridionale del Basso Adriatico ed è costituita da un centinaio di specie, mentre nella parte centrale del bacino acquista maggior valore percentuale la comunità definita «costiera», dominata da *Acartia clausi, Centropages typicus e Temora stylifera*, accompagnata dalla comunità definita «estuarina», costituita da *Pseudocalanus elongatus* e *Temora longicornis*, che prevale nella parte più occidentale e più settentrionale del Nord Adriatico, dove le specie si riducono ad una trentina (SPECCHI e FONDA UMANI, 1983).

Anche altri gruppi tassonomici presentano un'uguale riduzione nel numero di specie mano a mano che da Sud si va verso Nord. Ad esempio GAMULIN (1979) rileva che delle 22 specie di Calicofori presenti nell'Adriatico solo 4 vengono raccolte nella parte più settentrionale del bacino, con dominanza assoluta (91.7 %) di *Muggiaea kochi* ; questa specie peraltro è prevalente in tutto l'Adriatico, ma in percentuali via via decrescenti, mentre aumentano progressivamente le altre specie.

Discorso analogo si può fare per i Chetognati i quali, secondo GAMULIN (1979) contano 9 - 10 specie nella parte meridionale del bacino, di queste solo 3 vengono rinvenute nella parte più settentrionale. In particolare, GAMULIN e GHIRARDELLI (1983) rilevano come *Sagitta setosa, S. inflata* e *S. minima* siano tipiche del Nord Adriatico, *S. minima* domini nel Medio Adriatico mentre *S. neodecipiens* sia molto frequente nel bacino meridionale.

FIG 3. — Distribuzione della biomassa dello zooplancton da rete espressa como peso secco/m³ in Adriatico (da Benovic e Al., 1984)

Per quanto riguarda i Cladoceri è stata descritta da SPECCHI (1970) una distribuzione a tendenza inversa da quanto esposto precedentemente : infatti tutte e sei le specie marine sono presenti in tutto l'Adriatico, ma nella parte centrale del bacino e soprattutto in quella meridionale la loro frequenza è scarsa. Sono invece dominanti, specialmente in periodo estivo, nell'Alto Adriatico.

Le condizioni ambientali del bacino settentrionale ed in particolare della sua zona costiera selezionano specie a largo spettro ecologico, che, approfittando di un ambiente trofi-camente più favorevole e mancando la competizione inter-specifica, possono raggiungere alte densità di popolamento (GHIRARDELLI, 1969). Questo aumento è ben rilevabile mediante determinazioni di biomassa. BENOVIC e al. (1984) individuano infatti sei aree distinte nell'Alto e nel Medio Adriatico per quanto riguarda la distribuzione della bio-massa dello zooplancton da rete. La zona più ricca risulta essere l'Alto Adriatico e il Golfo di Trieste in particolare (Fig. 3).

Si è notato inoltre (SPECCHI e al., 1984) che l'abbon-danza in termini di biomassa zooplanctonica è ben correla-bile con la distribuzione della uova di *Engraulis encrasicolus* (acciuga) e quindi con i punti di sua massima concentrazione.

Le condizioni trofiche estremamente favorevoli dell'am-biente pelagico ed in particolare di quello neritico costiero dell'Adriatico determinano popolamenti nectonici molto abbondanti soprattutto per ciò che si riferisce al cosiddetto « piccolo pesce pelagico» (*Engraulis encrasicolus* e *Sardina pilchardus*). Recenti valutazioni (PICCINETTI, REGNER e SPECCHI, 1981 ; PICCINETTI e SPECCHI, 1983/84) condotte con il metodo delle uova e larve hanno dato i seguenti risultati : per *Engraulis encraticolus* la quantità dello stock di soli riproduttori determinata in molti anni di ricerche varia tra il milione e i tre milioni di tonnellate ; per *Sardinia pilchardus* lo stock si aggira attorno alle 700 000 tonnellate.

BACINO SETTENTRIONALE DELL'ADRIATICO

Struttura e circolazione delle masse d'acqua

Nel bacino settentrionale direttamente influenzato dal Po e dai fiumi del sistema padano — veneto si evidenziano due situazioni distinte legate alle variazioni del bilancio termico, nei mesi freddi, cioè in regime di bilancio termico negativo, le regioni occidentali del bacino, che ricevono apporti di acque dolci restano segregate entro un sistema frontale dalle res-tanti acque settentrionali più dense, ma omogeneamente dis-tribuite lungo tutta la colonna, di provenienza meridionale profonda o intermedia — superficiale di origine orientale (FRANCO, 1983) (Fig. 4).

In situazione di bilancio termico positivo, invece, si nota una netta stratificazione della massa d'acqua di tutto il bacino settentrionale. In superficie via via si espandono le acque dolci di provenienza fluviale, mentre il termoclino si abbassa progressivamente col procedere della stagione calda. In questa situazione sono distinguibili almeno tre nuclei d'acqua, di cui uno superficiale a bassa densità e temperatura elevata, uno intermedio, dato dall'erosione dello strato superficiale su quello profondo e con introduzioni di corpi d'acqua orientali per advezione laterale ed infine uno strato profondo, denso, non diluito, dato dall'acqua residua inver-nale (Fig. 5).

Nella zona più meridionale del bacino, ad eccezione della fascia costiera, gli strati d'acqua si riducono generalmente a due.

In autunno, quando ancora permane la stratificazione termica estiva, la plume del Po può determinare, oltre ad un getto superficiale discendente verso SSE, anche un flusso verso NE, che innesca un sistema circolatorio ciclonico in tutto il Golfo di Venezia (FRANCO, 1985).

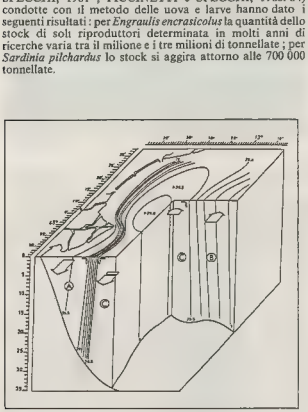


FIG. 4. — Struttura delle masse d'acqua dell'Alto Adriatico durante il periodo invernale (da Franco, 1983).

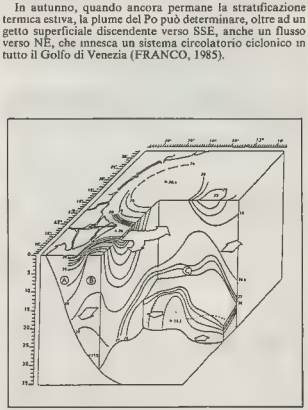


FIG. 5. — Struttura delle masse d'acqua dell'Alto Adriatico durante il periodo estivo (da Franceo, 1983).

Distribuzione dei nutrienti

Anche la distribuzione delle proprietà non conservative è strettamente legata alla distribuzione e alla dinamica delle masse d'acqua.

Così, durante il periodo invernale il fronte costiero, segrega una zona occidentale di circa 10 miglia di larghezza, arricchita dagli apporti terrigeni, da quella al largo, caratterizzata da bassi tenori in nutrienti ed in sostanza organica disciolta e particellata (FRANCO e al., 1979).

In regime di stratificazione, invece, lo strato d'acqua superficiale è ovviamente quello che presenta i tenori più elevati in nutrienti, lo strato o gli strati intermedi al contrario sono decisamente impoveriti, mentre nelle strato profondo, dove è attiva la mineralizzazione della sostanza organica proveniente dagli strati soprastanti, i valori dei nutrienti sono dello stesso ordine di grandezza di quelli degli strati superficiali.

In questo nucleo d'acqua profonda si possono verificare situazioni più o meno critiche di ipossia per l'elevato consumo d'Ossigeno dovuto proprio all'intensa rimineralizzazione in atto.

In autunno, con la rottura della stratificazione, i nutrienti mineralizzati al fondo, vengono rimessi in soluzione dalla piena circolazione su tutta la colonna.

Per ulteriori e più dettagliate notizie si vedano i già citati lavori di FRANCO (1973, 1982, 1983, 1984, 1985), nonché di MOSETTI (1966/67, 1984), ZORE ARMANDA (1965) e BULJAN e ZORE ARMANDA (1976).

Produzione primaria

Durante la stagione invernale, in regime d'instabilità, sia entro la zona costiera che al largo, l'attività fotosintetica risulta essere fotolimitata (FRANCO, 1984) e in generale la produzione primaria è piuttosto bassa.

In regime di stratificazione invece, le profondità di penetrazione dell'irradianza PAR variano in funzione alla quantità di sostanza particellata e disciolta presente negli strati superficiali.

In linea di massima in questi strati la produzione primaria è alta ed è limitata dalla disponibilità di nutrienti e dalla temperatura, oppure, in caso di scarsa attenuazione della luce, per fotoinibizione.

Negli strati sottostanti invece il fattore maggiormente limitante è l'energia radiante e quindi, laddove gli strati superficiali presentano un alto carico sestonico e fitoplanctonico, risulta nulla o quasi.

Viceversa quando gli strati superficiali presentano un elevato grado di trasparenza i massimi di produzione primaria si spostano a maggiori profondità.

I dati sperimentali di produzione primaria con il metodo del radiocarbonio sono, a tutt'oggi, piuttosto scarsi (Tab. I) tuttavia ci consentono di inserire l'Alto Adriatico fra le zone più produttive del Mediterraneo.

Popolamenti planctonici

Le particolari condizioni idrologiche dell'Adriatico settentrionale influenzano evidentemente le popolazioni planctoniche di quest'area.

Già STIRN (1969) aveva identificato 5 aree nell'Alto Adriatico in base appunto alla loro struttura idrologica, chiaramante influenzata dall'apporto del Po. Queste zone sono: zona P — area padana — influenzata dalla presenza di acque del bacino padano — veneto con evidente stratificazione estiva zona S — area settentrionale — con stratificazione estiva poca accentuata, tranne che in condizioni meteorologiche particolari ; zona KI — area istriana e del Quarnero — influenzata dall'apporto di acque meridionali ; zona C — area centrale — con condizioni intermedi ; zona J — Fossa di Pomo — influenzata dalle acque medio —adriatiche.

Secondo lo stesso Autore (1971), più in generale, durante l'estate nel bacino settentrionale si possono distinguere acque padane e acque medio adriatiche ; quest'ultime costituiscono l'acqua di fondo di tutto il bacino e l'intera colonna nella fascia orientale, sono molto più povere in biomassa e caratterizzate da un popolamento a Copepodi ; mentre le acque padane, più ricche, sono caratterizzate dalla catena *Nitzschia-Pentilia-Acciuga.*

TABLEAU I

Dati di produzione primaria nell'Alto Adriatico

LOCALITA'	VALORE	AUTORE
Rovigno	310 mg.C m^2 giorno	CVIIC, 1964
Golfo di Venezia (sup.)	1.70 ± 1.05 mg.C m^3 h	FRANCO, 1967
(-20 m)	0.34 ± 0.1 mg.C m^3 h	FRANCO, 1967
Golfo di Venezia	12 ± 3.19 mg.C m^2 h	FRANCO, 1969
Rovigno	20/30 mg.C m^2 h	KVEDER & KECKES, 1969
	80/100 g.C m^2 anno	KVEDER & KECKES, 1969
Radiale Po-Rovigno	56/87 g.C m^2 anno	KVEDER & REVELANTE, 1973
Rovigno	7/40 mg.C m^2 h	REVELANTE & KVEDER, 1971
	85 g.C m^2 anno	REVELANTE & KVEDER, 1971
Venezia	15/1387 mg.C m^2 giorno	VATOVA, 1961
Plume del Po	30/40 mg.C m^3 h	FRANCO, 1983
10 miglia dalla plume	1/10 mg.C m^3 h	FRANCO, 1983

Durante l'inverno le acque medio adriatiche (STIRN, 1969), invadono tuto il bacino settentrionale, i cui popolamenti acquistano una fisionomia diversa : sono più poveri in biomassa e contengono alcuni elementi tipici di acque meridionali.

Il fitoplancton

VOLTOLINA (1969, 1970, 1971a, 1971b) nota come il fitoplancton del bacino settentrionale dell'Adriatico sia caratterizzato dalla dominanza quasi assoluta di *Nitzschia seriata*, la cui densità è sempre maggiore nella zona influenzata dalla acque del Po, e quindi decrescente da Ovest verso Est, ed è relativemente minore nell'area posta a Nord del delta padano.

Tale situazione è caratteristica di tutti i periodi dell'anno, eccezion fatta per i mesi estivi, in cui dominano sempre le Diatomee ; tra queste, pur essendo sempre presente *N. seriata*, assume maggior importanza il genere *Chaetoceros*. Inoltre in questo periodo sono presenti anche le Dinoficee con il genere *Gymnodinium*, soprattutto nella parte più orientale del bacino. Tale situazione permane anche durante l'autunno, quando, accanto al genere *Gymnodinium*, viene segnalata una certa quantità di *Dinophisis* sp. p. e. *Ceratium* sp.p.

Per FONDA UMANI (dati non pubblicati) in situazione d'instabilità autunnale la comunità fitoplanctonica dell'Alto Adriatico risulta dominata da Diatomee Centriche, accompagnate da alcune specie appartenenti alle Pennate, mentre scarse sono le Dinoficee ad eccezione del genere *Gymnodinium*. Sempre presenti seppur in percentuale variabile dal 35 al 50 % i Microflagellati.

In primavera, ancora in regime d'instabilità, la comunità fitoplanctonica presenta la codominanza di Microflagellati e della piccola Diatomea centrica *Skeletonema costatum*. Sono ben rappresentate anche le specie appartenenti al genere *Nitzschia*.

In regime di stratificazione estiva il popolamento è caratterizzato negli strati superficiali da un'abbondante biomassa, costituita essenzialmente da Diatomee Centriche, accompagnate da Microflagellati, gli strati intermedi, dove sono presenti anche alcune Dinoficee, e quelli profondi non invece impoveriti.

Zooplancton da rete

La distribuzione degli organismi, oltre ad essere funzione delle caratteristiche idrologiche e trofiche dell'ambiente particolare dell'Alto Adriatico, è evidentemente anche legata alla loro dinamica stagionale. Infatti i popolamenti zooplanctonici del bacino settentrionale sono caratterizzati, durante l'inverno, dalla presenza di un numero limitato di specie tra le quali sono prevalenti i Copepodi, la cui densità non raggiunge mai valori particolarmente alti. In primavera, aumenta il numero di specie di Copepodi, e compaiono numerose altre forme oloplanctoniche e meroplanctoniche. Quest'ultime sono le forme larvali dei numerosi organismi bentonici e dei pesci di cui la piattaforma continentale alto adriatica è particolarmente ricca. D'estate hanno prevalenza quasi assoluta i Cladoceri con dominanza del Sidide *Penilia avirostris* ; all'inizio e alla fine dell'estate acquista notevole importanza anche *Acartia clausi*, che è dominante in autunno, quando, in corrispondenza del periodo di intensa turbolenza e circolazione e del secondo massimo di fioritura fitoplanctonica, la comunità zooplanctonica riacquista, almeno in parte, l'aspetto primaverile, con alte percentuali di forme larvali, accanto alla frazione dominante costituita appunto dai Copepodi.

L'influenza del Po sulle popolazioni zooplanctoniche del bacino settentrionale, tenuto conto della loro dinamica, di cui si è detto, è stata studiata da molti Autori in occasione di varie crociere. Tra questi ROTTINI e GAMULIN (1969) mettono in evidenza che nell' area «settentrionale» e in quella «padana» di STIRN (1969) la specie prevalente o esclusiva tra i Sifonofori è *Muggiaea kochi*, mentre in quella «orientale» e in quella «meridionale» acquista maggior importanza *Sphaeronectes irregularis*

SPECCHI (1970) rileva una netta preferenza per le acque padane da parte del Cladocero *Podon polyphemoides*, (Fig. 6), mentre *Evadne spinifera* ed *E. tergestina* (in accordo con quanto osservato da THIRIOT, 1969) prediligono le acque della zona non direttamente influenzate dall'apporto del Po.

La distribuzione verticale dei Cladoceri nell'Alto Adriatico (FRANCO e COMASCHI, 1976) è correlabile con la distribuzione delle masse d'acqua. Infatti durante i periodi di stratificazione *E. spinifera, E. tergestina* sono presenti nelle acque superficiali, *P. polyphemoides* è presente nelle acque superficiali costiere in agosto, settembre ed ottobre 1972, mentre è meglio rappresentato nelle acque profonde, defluenti dal bacino settentrionale, nel luglio 1973. *Penilia avirostris* è la specie più abbondante e sembra prediligere acque a caratteristiche intermedie. In regime di turbolenza non esiste una distribuzione preferenziale dei Cladoceri.

Anche HURE e SCOTTO DI CARLO (1969) identificano tra i Copepodi una popolazione padana dominata da *Acartia clausi, Paracalanus parvus*, e *Temora longicornis, mentre Ctenocalanus vanus, Clausocalanus arcuicornis, C. furcatus* e *Oithona plumifera* predominano quantitativamente nelle acque centrali, orientali e meridionali.

COMUNITA' PLANCTONICHE DEL DELTA

I popolamenti fitoplanctonici associati alla plume del Po sono, in linea di massima, quelli caratteristici della parte occidentale del Nord Adriatico, di cui si è già detto. Tuttavia FRANCO e al. (1979, 1982) e SOCAL e al. (1982) rilevano sempre nelle acque superficiali della plume una popolazione quantitativamente più abbondante che nelle restanti aree del bacino settentrionale. Inoltre notano come tale aumento sia prevalentemente dovuto a pochi taxa che sono largamente dominanti (Microflagellati, *Nizschia seriata, Rhizosolenia alata, R. fragilissima, Chaetoceros* sp. p., *Leptocilindrus* sp. p.), accompagnate da specie tipiche di acque dissalate (*Fragilaria cratonensis, Skeletonema costatum, Eutrepiella pascheri, Prorocentrum micans*).

Ciò è particolarmente evidente durante il periodo di stratificazione ; in periodo d'instabilità, le differenze qualitative e quantitative tra i popolamenti delle acque della plume e quelli delle masse d'acqua instabili circolanti nel bacino, sono molto meno marcate.

Per quanto riguarda lo zooplancton (FONDA UMANI e al., 1981 ; SPECCHI e FONDA UMANI, 1983) ricerche effettuate su un reticolo di stazioni nella zona estesa per un massimo di 20 miglia attorno alle bocche del Po, in due anni successivi nello stesso periodo (settembre - ottobre) hanno messo in evidenza la ricchezza quantitativa in termini di biomassa zooplanctonica nelle stazioni direttamente investite dalla plume ; inoltre, il fiume nella zona più prossima alle foci, influenza anche qualitativamente i popolamenti. Infatti, nelle stazioni più prossime al cono d'inizione, sulla popolazione già impoverita in specie, tipica dell'area settentrionale, prende il sopravvento, sia nello strato superficiale che in

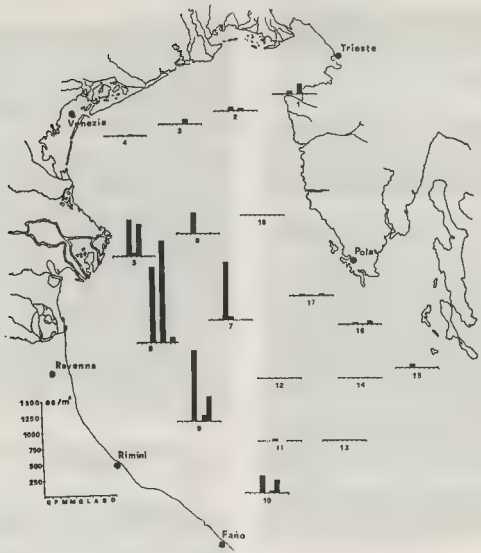


FIG. 6. — Distribuzione di *Podon polyphemoides* nell'Alto Adriatico (da Specchi, 1970).

quello profondo, *Acartia clausi* ; tale dominanza, via via che ci si allontana dal punto d'iniezione, viene sostituita da quella di *Penilia avirostris*, che, come si è detto, è l'organismo dominante in tutto il bacino dell'Alto Adriatico in quel periodo dell'annno (Fig. 7).

CONCLUSIONI

Limitando le osservazioni sugli effetti del Po e dei fiumi dell'estuario padano - veneto sul sistema pelagico dell'Adriatico, sono stati appena accennati in questa sede gli importanti effetti di questo sistema deltizio sull'assetto idrologico e sulla circolazione, nonché sulla morfologia dei fondali. In effetti, la circolazione dell'Adriatico, promossa dal Po, determina imponenti spostamenti di masse d'acqua, che interessano non solo l'Adriatico stesso, ma anche il Mediterraneo, soprattutto nella sua parte orientale, con trasporto e diffusione di nutrienti di cui il Po è una delle fonti principali.

Di fatto l'influenza del maggior fiume italiano che, come si è detto si fa sentire anche al di fuori dei confini geografici dell'Adriatico, è più intensa e determinata via via che ci si avvicina al punto d'iniezione e quindi il suo effetto crea una pressione selettiva mano a mano più intensa sui popolamenti fito — e zooplanctonici.

Per contro le maggiori concentrazioni di sali nutritivi legate agli apporti del Po — e più in generale a quelli costieri, ivi compresi quelli di origine antropica — aumentano il trofismo secondo un gradiente diretto da Sud verso Nord e da Est verso Ovest.

Ne deriva una maggior produzione lungo la fascia costiera italiana e nel bacino settentrionale rispetto alle zone più al largo e più meridionali e alla fascia costiera orientale.

La pressione selettiva di cui si è detto, raggiunge il suo acme nella plume dove la produzione primaria e la biomassa fito — e zooplanctonica, pur essendo le più elevate di tutto il bacino, sono l'espressione di una comunità pelagica pauci-specifica.

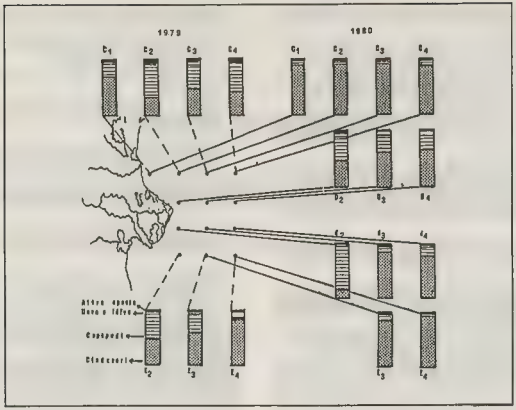


FIG. 7. — Composizione percentuale dei vari gruppi zooplanctonici alla foce del Po (da Specchi e Fonda Umani, 1983).

BIBLIOGRAFIA

BENOVIC (A), FONDA UMANI (S.), MALEY (A.) & SPECCHI (M.), 1984. — Net zooplankton biomass of Adriatic Sea. *Mar. Biol.*, 79, 209-218.

BULJAN (M.) & ZORE-ARMANDA (M.), 1976. — Oceanographic properties of the Adriatic Sea. *Oceanog. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 14, 11-98.

FONDA UMANI (S.), SPECCHI (M.) & RADINI (G.), 1982. — Alcune osservazioni sulla comunità antistante le foci del Po. *Atti Conv. U.O. afferenti sottoprog. Risorse Biologiche e Inquinamento marino, Roma*, Roma, 83-90.

FONDA UMANI (S.), MILANI (L.) & SPECCHI (M.), 1985. — Observations on zooplankton in the North and Central Adriatic. *Rapp. Comm. Int. Mer Medit.*, 29, (9), 303-305.

FRANCO (P.), 1973. — L'influenza del Po sui caratteri oceanografici e sulla distribuzione della biomassa planctonica nell'Adriatico settentrionale. *Ann. Univ. Ferrara, NS*, 1, 95-117.

FRANCO (P.), 1982. — Idrologia e nutrienti nell'Adriatico settentrionale : crociere 1979. Note preliminare. *Atti Conv. sci. naz Prog. Final. Oceanografia Fondi marini*, Roma, 9-24.

FRANCO (P.), 1983. — L'Adriatico settentrionale : caratteri oceanografici e problemi. *Atti V Congr. A.I.O.L.*, Stresa, 1-27.

FRANCO (P.), 1984. — Fattori influenti sulla produttività primaria dell'Adriatico settentrionale. *Boll. Oceanol. Teor. Appl.*, 2, (2), 125-140.

FRANCO (P.), 1985. — Caratteri strutturali e di circolazione dell'Adriatico settentrionale : relazioni con la diffusione di soluti versati nel bacino. *Lo smaltimento dei rifiuti industriali ed i problemi dell'Alto Adriatico.*, 22-27.

FRANCO (P.) & COMASCHI SCARAMUZZA (A.), 1976. — Distribuzione dei Cladoceri nell'Adriatico settentrionale. Nota preliminare. *Archo. Oceanogr. Limnol*, 18, (3), 425-436.

FRANCO (P.), SOCAL (G.) & BIANCHI (F.), 1979. — Nutrienti e biomassa fitoplanctonica nell'Adriatico settentrionale. Crociere 1978. *Atti Conv. sc. naz. Prog. Fin. Oceanografia e Fondi marini*, Roma, 47-59.

FRANCO (P.), SOCAL (G.) & BIANCHI (F.), 1982. — Fitoplancton nell'Adriatico settentrionale. Crociere 1978. *Naturalista sicil.*, s. IV, (suppl.), 29-38.

GAMULIN (T.), 1976. — Répartition des Calycophores en mer Adriatique. *Rapp. Comm. Int. Mer Medit.*, 24, (10), 103-104.

GAMULIN (T.), 1976. — Répartition des Chaetognathes en mer Adriatique. *Rapp. Comm. Int. Mer Medit.*, 24, (10), 139-140.

GAMULIN (T.) & GHIRARDELLI (E.), 1983. — Les Chaetognathes de la mer Adriatique. *Rapp. Comm. Int. Mer. Medit.*, 28, (9), 175-177.

GHIRARDELLI (E.), 1968. — Chaetognathes récoltés par l'Argonaut, en haute Adriatique. *Rapp Comm. Int. Mer Medit.*, 19, (3), 475-477.

GHIRARDELLI (E.), 1969. — Lo zooplancton dell'Alto Adriatico ed il problema degli indicatori. *Publ. Staz. Zool. Napoli*, 37, (suppl.), 25-39.

HURE (J.) & SCOTTO DI CARLO (B.), 1969. — Copepodi pelagici dell'Adriatico settentrionale nel periodo gennaio - dicembre 1965. *Publ. Staz. Zool. Napoli*, 37, (2), 173-195.

HURE (J.), IANORA (A.) & SCOTTO DI CARLO (B.), 1980. — Spatial and temporal distribution of Copepod communities in the Adriatic Sea. *Journ. Plankton Res.*, 2, (4), 295-316.

MOSETTI (F.), 1966/67. — Caratteristiche idrologiche dell'Adriatico settentrionale. Situazione estiva. *Atti Ist. Ven. sci. lett. arti*, 125, 147-175.

MOSETTI (F.), 1984. — Caratteristiche fondamentali dell'idrologia dell'Adriatico. *Boll. Oceanol. Teor. Appl.*, 2, (2), 169-194.

PICCINETTI (C.), REGNER (S.) & SPECCHI (M.), 1981. — Estimation préliminaire de la production maximale d'anchois et de sardine en Adriatique *FAO, Rapp. Peches*, 253, 155-158.

PICCINETTI (C.) & SPECCHI (M.), 1983/84. — Ricerca e pesca pelagica in Adriatico : determinazione dello stock di piccoli pesci pelagici con il metodo delle uova e larve. *Nova Thalassia*, 6, (suppl.), 333-342.

PUCHER PETKOVIC (T.), 1966. — Végétation des Diatomées pélagiques de l'Adriatique moyenne *Acta Adriatica*, 13, (1), 1-97.

REVELANTE (N.) & GILMARTIN (M.), 1977. — The effects of Northern Italian rivers and eastern mediterranean ingression on the phytoplankton of the Adriatic sea. *Hydrobiol.*, 56, (3), 229-240.

ROTTINI (L.) & GAMULIN (T.), 1969. — Distribuzione dei Sifonofori in Adriatico a Nord della trasversale Fano - Lussino. *Boll. Pesca Piscic. Idrobiol.*, 24, (1), 79-89.

SOCAL (G.), BIANCHI (F.) & FRANCO (P.), 1982. — Abbondanza e biomassa fitoplanctonica nell'Adriatico settentrionale. Crociere 1979. *Atti Conv. U.O. afferenti sottoprog. Risorse Biologiche e Inquinamento marino.*, Roma, 25-32.

SPECCHI (M.), 1970. — Cladoceri raccolti dall'«Argonaut» in Alto Adriatico. *Boll. Pesca Piscic. Idrobiol.* 25, (1), 95-110.

SPECCHI (M.) & FONDA UMANI (S.), 1983. — La communauté néritique des embouchures du fleuve Pô. *Rapp. Comm. Int. Mer Medit.*, 28, (9), 197-199.

SPECCHI (M.) & FONDA UMANI (S.), 1983. — Copepods of the Gulf of Trieste. *Thalassia Jugoslavica*, 19, (1/4), 339-431.

SPECCHI (M.), FONDA UMANI (S.) & PICCINETTI (C.), 1984. — Biomasse instantannée zooplanctonique et ressource pélagique. *FAO Rapp. Tecn.*, 290, 199-200

STIRN (J.), 1969. — Pelagial sevenega Jadrana. *Razprave SAZU*, 12, (2), 43-132.

STIRN (J.), 1971. — The general planktonological characteristics of the North Adriatic during 1965. *Rapp. Comm. Int. Mer Medit* , 20 (3), 425-426

THIRIOT (A.), 1968. — Les Cladocères de Méditerranée occidentale. I. Cycle et répartition des espèces du genre *Evadne* à Banyuls-sur-Mer (Golfe du Lion). *Vie et Milieu*, 19, (2B), 316-349.

VOLTOLINA (D.), 1969. — Distribuzione quantitativa e qualitativa del fitoplancton nell'Adriatico settentrionale I — Estate 1965. *Archo. Oceanogr. Limnol.*, 16, (2), 173-187.

VOLTOLINA (D.), 1970. — Distribuzione quantitativa e qualitativa del fitoplancton nell'Adriatico settentrionale. II — Autunno 1965. *Archo. Oceanogr. Limnol.*, 16 (3), 227-246.

VOLTOLINA (D.), 1971. — Distribuzione quantitativa e qualitativa del fitoplancton nell'Adriatico settentrionales. III — Inverno 1966. *Archo. Oceanogr. Limnol.*, 17, (1), 71-93.

VOLTOLINA (D.), 1971. — Distribuzione quantitativa e qualitativa del fitoplancton nell'Adriatico settentrionale. IV - Primavera 1966. *Archo Oceanogr. Limnol.*, 17, (2), 169-177.

ZORE ARMANDA (M.), 1969. — Water exchange between the Adriatic and the Eastern Mediterranean. *Deep. Sea Res.*, 16, 171-178.

RAPPORT SUR LE THÈME I

LES GRANDS DELTAS : L'IMPACT DES GRANDS FLEUVES

par M. LEVEAU et M. SPECCHI

Cette première partie du Colloque a permis de comparer l'impact du Pô et du Rhône sur le milieu marin.

Ces deux fleuves présentent un certain nombre de points communs : débits, apports en sels nutritifs et eutrophisation qui en découle. Les différences observées quant à leur impact respectif sont dues au fait que le Rhône débouche en mer ouverte, alors que l'Adriatique est une mer semi fermée, dont le plateau continental est beaucoup plus vaste que le Golfe du Lion. Les effets des marées et des vents sur l'hydrodynamisme de la nappe de dilution ne sont pas également comparables.

Si, dans les deux effluences, l'extension des nappes de dilution dépend bien des variations de débit, celle du Rhône est plus fortement sous la dépendance des vents et plus particulièrement du Mistral. Pour ces raisons, l'aire de dilution rhodanienne présente une plus grande variabilité spatiotemporelle que celle du Pô.

Si les deux panaches de dilution sont bien influencés par des courants cycloniques, la dérive d'eau Atlantique en Méditerranée occidentale (courant Liguro-occidental) est par contre beaucoup plus intense que celle rencontrée en Adriatique, ce qui a donc pour conséquence une accélération des mélanges et une moins bonne individualisation du panache de dilution rhodanienne que celui du Pô

Dans les deux cas, on constate bien une forte eutrophisation du milieu marin qui se traduit par la présence de peuplements phyto et zooplanctoniques denses peu diversifiés ; pour le Rhône, cependant, en raison de la plus grande instabilité du panache, il n'y a pas de peuplement à forte biomasse de façon constante, mais une succession de phases hautement productives interrompues par des phases d'une relative pauvreté.

Suggestions : En l'état de nos connaissances il nous paraît souhaitable de poursuivre des recherches, sur le devenir du matériel organique détritique exporté soit vers le large, soit vers le fond, qui entre dans les réseaux trophiques. Il nous paraît également important d'étudier la dynamique de ces particules ainsi que les cinétiques de biodégradation qui permettent une augmentation de la biomasse bactérienne ainsi que la minéralisation du matériel. Ce dernier point nous paraît capital dans la compréhension de l'impact rhodanien sur le bassin occidental de la Méditerranée.

THÈME II

LES LAGUNES MÉDITERRANÉENNES

Bull. Ecol., t. 18, 2, 1987, p. 149-158

LES LAGUNES ITALIENNES

par Gian Carlo CARRADA(1), Victor Ugo CECCHERELLI(2) et Ireneo FERRARI(3)

MOTS-CLÉS : Lagunes italiennes - Delta du Fleuve Pô - Facteurs hydrodynamiques - Facteurs trophiques - Sédiment - Zooplancton -Zoobenthos - Diversité - Stabilité

KEY-WORDS : Italian lagoons - Po River Delta - Hydrodynamic factors - Trophic factors - Sediments - Zooplankton - Zoobenthos -Diversity - Stability

RÉSUMÉ

Les auteurs présentent une mise au point des problèmes les plus actuels de recherche sur les lagunes italiennes, surtout en ce qui concerne les caractères qui identifient et définissent les lagunes en tant qu'écosystèmes. Les principales lignes de recherche suivies en Italie sont illustrées, observant les différences qui caractérisent des milieux lagunaires soumis à des régimes hydrographiques et climatiques divers. Les résultats d'études écologiques menées au cours de la dernière décennie dans des milieux de la Haute Adriatique, en particulier dans la Sacca de Scardovari, vaste lagune du Delta du Pô, sont reportés de manière détaillée. L'analyse a été principalement consacrée à l'étude des fonctions biologiques de cet écosystème : dans ce but a été analysée la distribution spatiale des biocénoses zooplanctoniques et zoobenthiques par rapport aux gradients des paramètres hydrodynamiques et d'état trophique des eaux.

SUMMARY

Italian lagoons

The authors present a review of the most up to date problems encountered in research on Italian lagoons, mainly with reference to the characteristics identifying and defining lagoons as ecosystems. The principal research lines followed in Italy are illustrated, emphasis being placed on the ecological differences among lagoons with different hydrological and climatic conditions. Detailed reference is made to results of ecological research carried out over the past ten years in the Northern Adriatic lagoons, in particular in the Sacca di Scardovari, a large lagoon in the Po River Delta. The analysis was mainly directed to the study of the biological functions of the ecosystem : for this purpose the space distribution of the zooplankton and zoobenthos biocenoses was analyzed in relation to the prevailing gradients of the hydrodynamic parameters and of the trophic state of the waters.

INTRODUCTION

Si, d'un côté, tracer l'histoire de la recherche écologique dans les milieux lagunaires italiens n'est pas une tâche facile parce que cette recherche a des origines anciennes et qu'elle a été menée autour de thèmes assez diversifiés, cela peut, d'un autre côté présenter une occasion pour des considérations sur son développement futur, à la lumière de ce qui est fait dans le cadre méditerranéen et, de façon plus générale, par rapport aux tentatives actuelles de vérification de certains points théoriques fondamentaux pour l'écologie aquatique. En effet, le milieu lagunaire représente un domaine de vérification stimulant du point de vue théorique, plus accessible sous le profil expérimental et opérationnel, plus immédiat pour les aspects gestionnaires, au moins par rapport à des milieux, tels que les milieux marins, au déchiffrage plus complexe et de moindre accessibilité du point de vue opérationnel.

Les origines de l'intérêt traditionnel italien pour les problèmes lagunaires s'identifient avec la fondation et le développement historique de Venise et de son territoire lagunaire où les problèmes gestionnaires du milieu physique et de sa dynamique, compliquée par rapport au bassin versant et à la mer, ont déterminé un ensemble riche et documenté d'informations à caractère appliqué, dans une première phase, et aussi à caractère théorique dans une phase suivante. Cette documentation, déjà dans le passé, a permis l'individualisation, et souvent la solution pratique, de problèmes que la littérature scientifique a identifié et affronté seulement récemment. On se réfère, en premier lieu, aux problèmes liés à la conservation du milieu lagunaire à travers la gestion des équilibres entre sédimentation et érosion en tant que résultat de connaissances approfondies de la dynamique hydraulique complexe qui les détermine ; en second lieu, aux problèmes de la gestion productive des ressources biologiques qui, dans les «valli» de la Haute Adriatique, ont trouvé des solutions qui se placent, encore aujourd'hui, parmi les plus avancées. Un regard sur les répertoires bibliographiques sur la lagune vénitienne et sur les bassins saumâtres voisins du Golfe de Venise (COSPAV, 1983) suffit à lui seul pour se rendre compte d'un travail séculaire d'analyses et de solutions à des problèmes de nature technique, économique et sociale, affrontés dans une perspective intégrée qui devance de quelques siècles les orientations actuelles de la recherche et de la gestion de ces milieux.

A partir de la Vénétie, l'expertise gestionnaire s'est ensuite propagée vers d'autres régions péninsulaires caractérisées par d'importantes étendues lagunaires. C'est par exemple le cas des systèmes côtiers pontins (Latium) dans lesquels, au 18e et au 19e siècle, l'administration pontificale mit en oeuvre la récupération productive sous la direction d'experts cultivateurs des «Valli» de Comacchio.

(1) Institut de Zoologie, Université de Naples, via Mezzocannone 8 — 80134 NAPLES (Italie).

(2) Institut de Zoologie, Université de Ferrare, via Borsari 46 44100 FERRARE (Italie).

(3) Institut d'Écologie, Université de Parme, via Cleopin 18 — 43100 PARME (Italie).

Toutefois, les caractéristiques climatiques, physiogéographiques hydrographiques et écologiques des milieux saumâtres de la Haute Adriatique n'ont pas permis l'extension des modèles locaux de gestion à d'autres régions italiennes plus franchement méditerranéennes, en particulier celles tyrrhéennes méridionales. Dans ce cadre géographique, seul la lagune du Fusaro, sur la côte phlégréenne de la Campanie, peut se vanter d'une longue série d'informations de nature physiogéographique et productive pour avoir été un centre de production ostréicole et pisicicole depuis l'époque romaine.

A une époque plus récente, l'étude des bassins lagunaires italiens s'est déplacée, en harmonie avec le développement de l'écologie aquatique, le long des lignes qui ont privilégié des thèmes liés à des études plus approfondies sur la flore et la faune, sur la structure des peuplements et sur le fonctionnement des écosystèmes, bien que menées suivant différents niveaux d'approfondissement et de continuité, sur un grand nombre de lagunes le long de tout le périmètre péninsulaire et insulaire.

Étant donné qu'il serait assez long de vouloir affronter une analyse détaillée de l'activité des chercheurs italiens dans le domaine que l'on est en train de traiter, il convient, en cette occasion, de se borner à rappeler seulement les grandes lignes des principaux domaines de l'écologie lagunaire traités par les diverses écoles, dans le but principal de fournir un tableau comparatif par rapport aux autres réalités scientifiques méditerranéennes.

Les études de la flore et de la faune constituent, évidemment, les lignes de recherche les plus anciennes et les plus continues. Dans ces domaines, l'importance de travaux publiés tout au long du siècle dernier dépasse leur référence géographique spécifique.

A une époque plus récente on rappelera la riche série de contributions des écoles de Padoue, Venise et Pavie sur le système lagunaire vénitien. Les lagunes de la Vénétie Julienne (Grado et Marano) sont l'objet d'études par les Universités de Trieste, Padoue et Pavie. Les Universités de Ferrare, Parme, Padoue et Bologne opèrent traditionnellement dans le Delta du Pô. Des équipes de recherche de Modène, Rome et Gênes s'occupent des lagunes toscanes, en particulier de celle d'Orbetello. Le système lagunaire pontin est l'objet d'une longue tradition de recherche des laboratoires de Rome et, plus récemment, des Universités de Naples et Gênes. La Station Zoologique et l'Université de Naples ont opéré avec continuité sur les lagunes de Campanie (Patria et Fusaro) ainsi que, plus occasionnellement, les Universités de Pavie et de Gênes. Depuis environ deux décennies un laboratoires de biologie lagunaire du Conseil National des Recherches opère sur les lagunes des Pouilles, orienté surtout vers des aspects d'application. Enfin, les autres centres de recherche lagunaire sont les Universités de Messine et de Palerme pour la Sicile, et l'Université de Cagliari pour le riche patrimoine lagunaire sarde.

L'étroite corrélation entre distribution géographique des lagunes et centres de recherche qui s'en occupent, représente une situation favorable pour une activité de recherche systématique et continue sur des systèmes diversifiés, non seulement par l'origine et la nature des bassins, mais aussi et surtout par leur distribution sur un vaste gradient longitudinal qui se reflète dans les niveaux de production de chaque milieu lagunaire. Le récent déplacement d'intérêt sur des thèmes de recherche d'écologie fonctionnelle, auxquels on fait allusion, est dû, d'un côté aux choix adhérant à l'évolution rapide de la théorie écologique, mais, d'un autre côté, il semble être aussi l'effet de l'importance reconnue aux problèmes d'application, en particulier à ceux de l'aquaculture. Dans ce cadre, une fois passée, ou presque, la période d'une aquaculture tentée partout et par n'importe qui, on s'est rendu compte que la voie d'une exploitation rationnelle des ressources lagunaires ne peut ne pas passer, au préalable, par la compréhension des mécanismes de la production naturelle.

Des recherches de génétique des populations, de biogéographie, d'écologie microbienne, sur les effets de la pollution au niveau écosystémique et spécifique complètent le panorama des thèmes de recherche lagunaire dans notre pays

Une considérable impulsion à l'élargissement des intérêts et à l'approfondissement de lignes traditionnelles est dérivée, au cours des dernières années, des activités promues et coordonnées par le Conseil National de Recherches dans le cadre des Programmes Finalisés pour l'Océanographie et l'Environnement.

Dans ce domaine ont été commencées, ou se sont consolidées, surtout des lignes relatives à l'écologie trophique et aux aspects théoriques et d'application de l'aquaculture. Le Programme pour l'Environnement, ont, entre autres, produit une série de monographies sur la faune pour l'identification des espèces lagunaires et côtières, constituée d'une dizaine de guides déjà publiés et d'autres sous-presse.

L'EXPÉRIENCE D'UNE RECHERCHE SUR UN ÉCOSYSTÈME LAGUNAIRE, LA SACCA DE SCARDOVARI

Dans ce rapport nous présentons les résultats de recherches menées dans des milieux lagunaires de la Haute Adriatique et en particulier de recherches réalisées au cours de la dernière décennie dans une baie du Delta du Pô, la Sacca de Scardovari, qui est située dans la partie méridionale du cône deltaïque.

En réalité, à travers la présentation de certains résultats, nous avons l'intention de reparcourir et revoir de manière critique une expérience de recherche qui nous semblait exemplaire ; expérience qui d'un côté peut être lue comme adhésion aux impératifs et aux modes de l'écologie des écosystèmes, mais d'un autre côté comme effort pour éviter les ambiguïtés, les généralisations et les banalisations qui, dans le cadre de l'approche écosystémique, ont pendant longtemps trouvé un large crédit.

CARACTÉRISTIQUES HYDROLOGIQUES ET SÉDIMENTOLOGIQUES

La Sacca di Scardovari se trouve entre deux branches terminales du delta ; elle s'ouvre sur la mer côté Sud, où elle est délimitée par des bancs de sable en grande partie submergés par les plus hautes marées ; elle reçoit les apports fluviaux exclusivement à travers l'embouchure à la mer (Fig. 1). La superficie est d'environ 32 km^2, la profondeur moyenne est d'environ 1,5 m et celle maximale de 4 m.

Les paramètres physiques et chimiques les plus importants de la colonne d'eau ont été relevés dans 8 stations réparties sur toute l'aire de la lagune, avec une périodicité d'environ quinze jours, pendant plus d'une année, d'avril 1978 à mai 1979.

L'analyse de l'ensemble des données recueillies a mis en évidence une nette zonation des caractéristiques hydrologiques et de l'état trophique avec un clair gradient le long de l'axe Nord-Sud de la lagune (Ceccherelli *et al.*, 1985).

Par rapport aux stations plus internes (septentrionales),

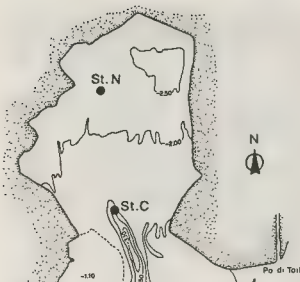


FIG. 1 — Carte bathymétrique de la Sacca de Scardovari où sont indiquées les trois stations (N, C et S) d'échantillonnage du zooplancton

celles sur l'embouchure présentent des valeurs moyennes plus élevées mais des variations plus amples de la salinité par rapport à la variation des afflux d'eau douce des branches fluviales. La salinité (‰) dans la station de relèvement la plus septentrionale (St. N., Fig. 1) est 17,9 ± 4,6 en surface et 19,8 ± 4,5 en profondeur ; dans la station la plus au Sud (St. S, Fig. 1) elle est de 20,9 ± 7,8 en surface et 26,0 ± 6,0 en profondeur.

Les variations de concentration de l'oxygène dissous, du phosphore réactif et de la chlorophylle-a phytoplanctonique (Fig. 2) mettent en évidence une nette tendance à l'augmentation du degré de trophie qui va de l'embouchure à la zone plus interne (CECHERELLI *et al.*, sous presse). Là, en effet, pendant l'été (en août-septembre), se manifestent des conditions de distrophie avec des pointes impressionnantes de chlorophylle-a (plus de 150 µg par litre), des valeurs maximales de phosphore réactif dans la couche voisine du fond et de très fortes variations du contenu en oxygène (avec en profondeur un minimum tendant vers zéro).

On a effectué l'analyse granulométrique et du contenu en carbone et en azote organique du sédiment superficiel dans un réseau de 40 points recouvrant toute la baie. Le traitement des données a révélé l'existence de gradients assez nets (CECHERELLI *et al.*, 1985).

Passant de la zone septentrionale à l'embouchure à la mer, la texture du sédiment se fait plus grossière (d'argileuse à sableuse). Dans le même sens le pourcentage de carbone organique passe de plus de 3 % à moins de 1 % ; de même, le contenu d'azote Kjeldahl diminue, passant de plus de 0,3 % à moins de 0,1 %. Le rapport carbone/azote est généralement plus bas dans l'aire septentrionale : dans le sédiment de cette aire on a probablement un apport important de matière organique riche en azote, dérivant des processus de décomposition des biomasses d'algues (soit du phytoplancton, soit des bancs d'*Ulva* et de *Gracilaria*) produites sur place.

LES PEUPLEMENTS ZOOPLANCTONIQUES

Des échantillons de zooplancton ont été recueillis dans la lagune pendant une année (de mars 1978 à avril 1979) avec une périodicité bimensuelle ou mensuelle, dans les trois stations indiquées dans la Fig. 1 (FERRARI *et al.*, 1982) ; il a été utilisé un filet avec ouverture de maille de 90µm. Dans la zone septentrionale on a les valeurs moyennes les plus élevées, aussi bien de densité (190 individus par litre) que de biomasse (plus de 300 µg de poids sec par litre). Dans le centre de la lagune et à l'embouchure la densité moyenne est d'environ 150 µg par litre. Le long de l'axe Nord-Sud le zooplancton se différencie nettement même pour l'évolution saisonnière de la densité. Dans la station Nord, en particulier, contrairement à ce que l'on observe dans les deux autres stations, il y a une dépression très nette de la densité du peuplement zooplanctonique en août-septembre, c'est-à-dire dans la période pendant laquelle dans la zone septentrionale s'observent des situations à la limite de la distrophie. A ce propos on fait remarquer la corrélation inverse qui pendant les mois d'été, dans la partie septentrionale de la lagune, s'établit entre la concentration de chlorophylle-a phytoplanctonique et la densité du zooplancton (FERRARI *et al.*, 1984).

On reconnaît trois groupements zooplanctoniques bien distincts : un groupement autochtone, qui constitue une grande partie du peuplement dans l'aire septentrionale et qui comprend des Rotifères du genre *Synchaeta* et du méroplancton (larves de Mollusques, de Polychètes et Cirripèdes) ; un groupement dulcicole d'une importance numérique tout à fait minime, associé au débit du fleuve et présent seulement dans quelques échantillons prélevés dans la station méridionale ; enfin un groupement marin, associé à la salinité et comprenant des formes typiques du peuplement néritique, Tuniciers (Appendiculaires) et puis Cladocères, Cyclopoïdes et Harpacticoïdes.

La distribution des valeurs moyennes de densité dans les trois stations est montré soit pour quelques-uns des taxa les plus significatifs du peuplement autochtone et de celui typiquement marin (Tab. I), soit pour les espèces les plus importantes de Copépodes Calanoïdes (Tab. II).

Le «pattern» de distribution des trois espèces du calanoïdes *Acartia* est particulièrement intéressant : deux d'entre-elles (*A. margalefi* et *A. latisetosa*) sont confinées dans la partie septentrionale de la lagune, tandis que *A. clausi* est plus abondante à l'embouchure. *Acartia margalefi* est caractérisée par d'amples oscillations numériques : au printemps elle présente des densités très élevées (jusqu'à 100 individus par litre) ; son cycle biologique s'interrompt pendant l'hiver et pendant les mois d'été avec la crise distrophique dans les eaux

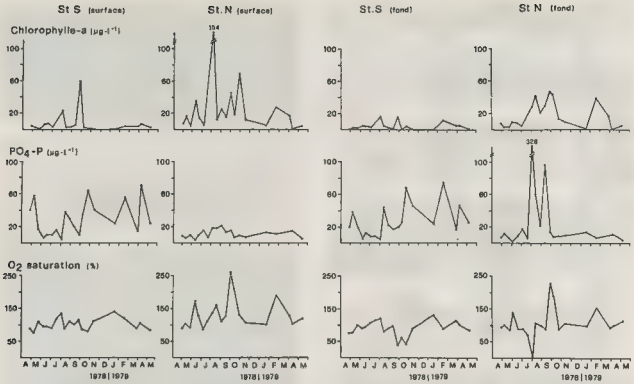


FIG 2. — Variation de certains paramètres d'état trophique de la colonne d'eau dans deux stations (voir Fig 1) de la Sacca de Scardovari (CECCHERELLI *et al.*, sous presse).

les plus internes de la lagune (FERRARI et CARRIERI, sous presse).

TABLEAU I

Valeurs moyennes de densité (ind./l) de quelques-uns parmi les taxa zooplanctoniques les plus significatifs dans les trois stations (voir Fig. 1) de la Sacca de Scardovari (campagne d'échantillonnage mars 1978 -avril 1979).

	St.	N	C	S
Larves de Bivalves	(LBI)	19.4	2.7	7.4
Larves de Gastéropodes	(LGA)	28.1	6.9	1.1
Cyclopoïdes	(CYC)	0.2	1.0	6.8
Harpacticoïdes	(HAR)	0.0	0.3	1.6
Cladocères	(CLA)	0.3	0.9	7.2
Tuniciers	(TUN)	0.0	0.0	1.8

La ségrégation dans la zone interne de *A. margalefi* et *A. latisetosa* — en association à des formes méroplanctoniques, en particulier des larves de Mollusques, et à des Rotifères — a été confirmée par l'analyse de deux cycles de 24 heures d'échantillonnage du zooplancton exécutés respectivement en juillet 1981 et en août 1982 (Tab. III et Tab. IV) (FER-

TABLEAU II

Valeurs moyennes de densité (ind /l) des espèces les plus importantes de Copépodes Calanoïdes dans la Sacca de Scardovari (campagne d'échantillonnage mars 1978 - avril 1979, voir Tab. I).

	St.	N	C	S
Acartia margalefi	(Am)	4.9	0.2	0.0
Acartia latisetosa	(Al)	0.1	0.0	—
Acartia clausi	(Ac)	0.3	0.2	1.6
Acartia copépodites	(CA)	3.9	1.6	3.0
Paracalanus parvus	(Pp)	0.0	0.1	1.2
Centropages spp.	(CE)	0.0	0.0	0.0
Temora spp.	(TE)	0.0	0.0	0.1

RARI *et al.*, 1985). Au mois d'août 1982, en concomitance avec un bloom massif de Diatomées, on a observé des valeurs réduites d'abondance du peuplement autochtone, en particulier des Calanoïdes.

En somme, la variabilité globale du zooplancton de la Sacca de Scardovari semble dépendre en premier lieu de la production autochtone de l'aire la plus interne et seulement en faible partie des facteurs hydrodynamiques reliés à l'ingresssion marine. La structure et la variabilité du peuple-

TABLEAU III

Valeurs moyennes de densité (ind./l) de quelques-uns parmi les taxa zooplanctoniques les plus significatifs dans les trois stations (voir Fig 1) de la Sacca de Scardovari (cycles d'échantillonnage de 24 heures en juillet 1981 et août 1982).

St.	28-29.7.1981			18-19.8.1982		
	N	C	S	N	C	S
LBI	29.4	13.3	7.8	15.6	2 8	2.8
LGA	9.2	2.6	1.9	11.9	4 4	1.8
CYC	6.2	4.6	9 7	1.3	2.7	9.6
HAR	0.5	0.8	1.0	0.8	3.1	6,9
CLA	0.2	0.5	2.2	0.2	0.5	2.8
TUN	—	0.1	0.2	—	0 0	0.1

TABLEAU IV

Valeurs moyennes de densité (ind./l) des espèces les plus importantes de Copépodes Calanoïdes dans la Sacca de Scardovari (cycles d'échantillonnage de 24 heures en juillet 1981 et août 1982, voir Tab. III).

St	28-29.7.1981			18-19.8.1982		
	N	C	S	N	C	S
Am	4.5	0.8	0 3	0.1	0.0	0.0
Al	2.7	0.5	0.1	0.3	0.0	0.0
Ac	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.1
CA	35.4	11.4	4.6	1.1	1.1	1 6
PP	0.1	0.7	2.0	0.0	0.7	2.5
CE	0.3	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4
TE	—	—	—	—	—	0.1

ment, qui dépendent de façon limitée du «pattern» de distribution de la salinité, semblent l'expression de fonctions biologiques complexes, en particulier la productivité des algues et la prédation par des espèces planctonophages. A cet égard, on rappelera les résultats d'une étude sur le régime alimentaire des alevins de Mugilidés, de bars et de daurades dans la lagune (FERRARI et CHIEREGATO, 1981) : les proies préférentielles des stades de plus petite taille de ces espèces de poissons appartiennent au zooplancton. D'une manière plus générale on pense que les paramètres de structure et de dynamique du zooplancton sont d'utiles descripteurs dans des buts de caractérisation écologique du domaine lagunaire (COLOMBO *et al.*, 1983).

LES PEUPLEMENTS ZOOBENTHIQUES

Macrobenthos

L'étude de la communauté du macrobenthos a été menée en suivant l'approche usuelle de l'examen de la structure spatiale. On a recueilli des échantillons de benthos au mois de juin 1976 dans 19 stations (exécutant 3 prélèvements pour chaque station avec une benne Van Veen de 0.1 m²), choisies suivant un plan d'échantillonnage stratifié dans trois zones de la lagune avec différentes caractéristiques mésologiques (Fig. 3).

Les données de densité ont été traitées suivant l'une des méthodes habituelles de la «cluster analysis» (algorithme de Lance et Wilhams, 1967, $\beta = -0.25$) exécutée sur une matrice de similitude inter-stations de Brays-Curtis . L'analyse a permis de localiser 4 zones, chacune d'elles ayant un peuplement relativement homogène (Fig. 3). Le tableau V montre les valeurs de quelques indices biocénotiques parmi les plus significatifs par rapport aux principales sous-communautés des différentes zones de la lagune. On observe que la densité moyenne suit le gradient d'état trophique, en diminuant nettement le long de l'axe Nord-Sud. Toujours dans

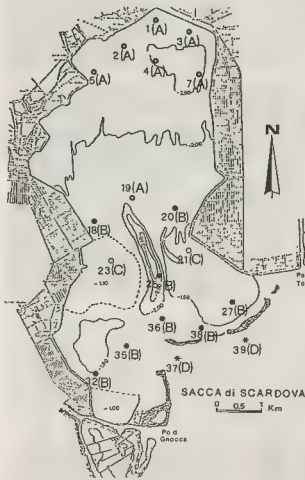


FIG. 3. — Station d'échantillonnage du macrobenthos. Les lettres majuscules entre parenthèses indiquent le groupe auquel la station correspondante a été rattachée par la «cluster analysis».

cette direction, la diversité ne cesse d'augmenter, malgré la diminution de la richesse en espèces et ceci grâce à l'augmentation de l'équitabilité. Dans le bassin méridional 2 stations se distinguent et forment le groupe C ; elles sont caractérisées par la présence d'importants bancs naturels d'huîtres.

TABLEAU V

Indices biocénotiques des sous-communautés macrobenthiques dans les différents groupes de stations identifiés par la «cluster analysis» (voir Fig 3) ; N : densité moyenne ± e.t. ; n.Sp. : nombre total d'espèces ; H' : indice de diversité de Shannon ; J' : indice d'équitabilité de Pielou.

	GROUPES			
	A (7 st.)	B (8 st.)	C (2 st.)	D (2 st.)
N. ind/m²	19034 ± 11132	4 583 ± 4788	1845 ± 380	636 ± 491
n. Sp.	23	20	20	16
H'	1.66	1 62	1.93	1.93
J'	0.53	0.54	0.64	0.70

Du point de vue écologique, la communauté de la lagune peut être définie, dans son ensemble, comme une «biocénose lagunaire euryhaline et eurytherme» suivant PÉRÈS et PICARD (1964) ; toutefois elle présente une «gradation à types variés», d'après MARS (1966), en raison d'une composition des espèces bien répartie dans les différentes sous-communautés. La structure en pourcentage des espèces de chacune des 4 sous-communautés localisées dans la lagune a été déjà analysée par CECCHERELLI *et al.* (sous-presse). La dominance du polychète *Capitella capitata* dans la zone A, celle plus au Nord, souligne le caractère plus marqué de l'enrichissement organique de cette partie de la lagune. D'autres espèces sont ici assez importantes : *Corophium insidiosum*, *Mytilaster minimus* et *Hydrobia* sp., qui, pour la plupart, sont associées à la présence d'*Ulva* et de *Gracilaria* et qui, étant aussi très communes dans les étangs isolés et clos de la côte de la Haute Adriatique, se retrouvent justement dans cette portion de la lagune à renouvellement déficient des masses d'eaux.

Dans la zone B, qui réunit la plupart des stations du bassin méridional-central, aux côtés de l'espèce «opportuniste» *Polydora ciliata*, qui est abondante dans toute la lagune, on remarque l'importance d'un autre polychète, *Heteromastus filiformis*, qui a une prédilection pour certains fonds à sable vaseux de cette partie de la lagune. De même les Bivalves *Cerastoderma glaucum* et *Abra alba*, espèces typiques des lagunes du Delta du Pô (VATOVA et FAGANELLI, 1951), sont caractéristiques.

Dans la zone D, qui représente la transition entre lagune et domaine thalassique, on signale par importance de pourcentage quelques formes,typiques de la «biocoenose des sables fins superficiels» (PÉRÈS et PICARD, 1964) de la zone infralittorale d'avant-Delta : *Lentidium mediterraneum*, *Cylindroclope neritea* et des Cumacées.

Ces trois sous-communautés sont réparties le long d'un gradient de confinement qui peut être reconnu et décrit suivant les variations de paramètres hydrodynamiques et de l'état trophique : les effets combinés des différentes intensités des gradients relatifs à ces paramètres ont un rôle décisif dans la structuration des différentes sous-communautés. Par contre, les deux stations du groupe C, caractérisées par la présence de *Crassostrea* sp., ne rentrent pas dans ce cadre. Il y a une équitabilité élevée ; l'espèce dominante est *Nereis succinea*, un polychète qui, dans ce milieu, exploite au maximum ses caractéristiques de prédateur et de «scavenger». Les Amphipodes, détritivores qui tirent très probablement profit du détritus concentré dans les fèces et pseudo-fèces des huîtres, sont bien représentés. L'implantation de *Crassostrea* sp. dans cette zone, dûe à la présence de concrétions biogéniques formées par des coquilles et au rapide transport de la production phytoplanctonique à la chaîne du détritus que cette espèce réalise, semble avoir un rôle structurant prééminent, en augmentant la complexité de l'habitat et du «pattern» d'allocation des ressources.

Méiobenthos

On a aussi étudié la zonation des communautés méiobenthiques, exclusivement par celle des deux taxa les plus représentatifs : les Nématodes et les Copépodes. Ces derniers étant représentés pour la plupart par des Harpacticoïdes. Des carottes de sédiment de 6 cm de diamètre ont été prélevées en juin 1976 dans 25 stations choisies au hasard dans toute l'extension de la lagune. Seul les 5 premiers centimètres de sédiment ont été considérés pour l'étude du méiobenthos. La «cluster analysis» a permis de localiser trois zones, chacune étant caractérisée par la présence d'une sous-communauté particulière ; ces zones sont montrées dans la figure 4 ainsi que les valeurs des indices biocénotiques les plus significatifs.

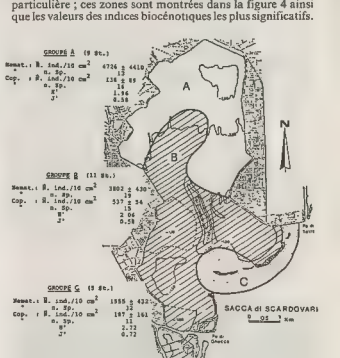


FIG. 4. — Zones de la Sacca de Scardovari caractérisées par différentes sous-communautés benthiques (identifiées par la «cluster analysis»).N : densité moyenne ± e.t. ; n.Sp. : nombre total d'espèces ; H' . indice de diversité de Shannon ; J' : indice d'équitabilité de Pielou.

La densité moyenne de Nématodes présente une tendance décroissante le long de l'axe Nord-Sud, celle des Copépodes est plus élevée dans le centre de la lagune. Le nombre d'espèces est plus élevé dans la partie interne de la lagune en ce qui concerne les Copépodes et dans la zone littorale pour les Nématodes, étant donné que ces derniers sont des organismes vermiformes fouisseurs qui occupent avec plus de succès les espaces intersticiels des sédients sableux. Enfin, la diversité spécifique, en particulier l'équitabilité, augmente en passant des stations septentrionales à celle des bancs sableux où la complexité de l'habitat interstiel est majeure.

La composition, en pourcentage, du méiobenthos dans les trois groupes de stations (Tab. VII) met en évidence : 1) la dominance dans toute la lagune de deux espèces «opportunistes», *Sabatieria pulchra* parmi les Nématodes, *Canuella perplexa* parmi les Copépodes ; 2) dans la zone Nord (groupe A) les Nématodes, bien représentés par des «feeding types» (d'après WIESER, 1953) spécialisés, en particulier par les brouteurs d'épistrates *Chromadorella membranata* et *Cyatholaimus gracilis* et par le carnivore-omnivore *Oncholaimus paralangrunensis*, prévalent nettement sur les Copépodes qui comprennent tout particulièrement des espèces phytales (*Ameira parvula, Tisbe histriana*) associées aux bancs de pleustophytes ; 3) dans le bassin méridional-central (groupe B) le méiobenthos est caractérisé par la grande abondance de formes limicoles, en particulier des Nématodes détritivores sélectifs (*Terschellingia longicaudata* et *Terschellingia communis*) et des Harpacticoïdes épipéliques (*Microarthridion fallax*) ; 4) la communauté des bancs sableux (groupe C) est très nettement diversifiée par la présence d'un grand nombre de Nématodes, pour la plupart à «feeding type» spécialisé (*Oncholaimus campylocercoides* et *Odonthophora armata*), et par l'apparition de Harpacticoïdes épipsammiques *Asellopsis sarmatica* et *Harpacticus flexus*.

On a calculé certains rapports numériques (LAMBSHEAD, 1986 ; WARWICK, 1981) entre catégories d'organismes méiobenthiques à comportement alimentaire différent (Tab. VII). Le rapport entre Nématodes détritivores non sélectifs et Nématodes plus spécialisés, les brouteurs d'épistrates, est très bas dans la zone septentrionale où le degré de trophie est plus élevé et où la variété de niches trophiques en fonction des substrats d'algues est vraisemblablement plus importante. Dans cette même zone, le rapport entre Nématodes brouteurs d'épistrates et Copépodes, qui sont à «raptorial feeding», c'est-à-dire à comportement alimentaire analogue à celui des Nématodes brouteurs, est beaucoup plus élevé. Nous avançons l'hypothèse que les Copépodes du méiobenthos, beaucoup plus sensibles que les Nématodes aux stress du milieu, sont nettement désavantagés dans la zone plus abritée de la lagune où l'on a des épisodes de distrophie. Ces mêmes rapports atteignent des valeurs très différentes dans les zones les plus au Sud (Tab. VII), moins troublées par de fortes variations des paramètres d'état trophique et où, les fonds étant caractérisés par des sédiments nus, les Nématodes plus spécialisés sont moins abondants que ceux détritivores.

En définitive, les sous-communautés du méiobenthos apparaissent réparties suivant un gradient qui a tendance à s'identifier étroitement avec les variations chimiques et granulométriques du sédiment. On a observé, surtout pour les Nématodes, le parallélisme entre la complexité de l'habitat et la diversité spécifique, même si c'est à une échelle et pour un grain de la mosaïque du milieu bien différents de ceux qu'on a observés dans la biocénose macrobenthique associée aux bancs d'huitres. D'ailleurs, comme on l'a dit, les conditions d'état trophique dans les diverses zones de la lagune jouent

TABLEAU VI

Composition, en pourcentage des espèces, des sous-communautés méiobenthiques dans les différentes zones de la Sacca de Scardovari (voir Fig 4), entre parenthèses le nombre de stations qui constituent le groupe correspondant. 1A : détritivore sélectif, 1B détritivore non sélectif, 2A : brouteur d'épistrates, 2B : omnivore-carnivore, em : épipélique, es : épipsammique, ph . phytale.

ESPÈCES		ZONES A (9)	B (11)	C (5)
Sabatieria pulchra	1B	25.5	44.0	29.9
Chromadorella membranata	2A	18.5	0.7	1.0
Terschellingia longicaudata	1A	2.7	13.8	7.8
Terschellingia communis	1A	0.1	11.3	8.3
Cyatholaimus gracilis	2A	19.3	0.7	—
Cyatholaimus sp.	2A	—	4.3	—
Oncholaimus paralangrunensis	2B	19.4	0.3	0.3
Oncholaimus campylocercoides	2B	—	—	8.6
Odonthophora armata	2A	—	—	9.2
Daptonema calceolatum	1B	3.4	1.5	0.7
(Autres Nématodes)		(7.9)	(10.5)	(22.9)
Canuella perplexa	em	1.6	10.1	7.0
Microarthridion fallax	em	0.5	1.2	0.3
Ameira parvula	ph	0.3	0.3	—
Tisbe histriana	ph	0.1	—	—
Cyclopina gracilis	ph	0.3	0.3	0.5
Asellopsis sarmatica	es	0.1	0.4	1.4
Harpacticus flexus	es	—	—	1.0
(Autres Copépodes)		(0.3)	(0.7)	(0.9)

TABLEAU VII

Rapports numériques entre différentes catégories trophiques d'organismes méiobenthiques dans les différentes zones de la Sacca de Scardovari (voir texte ; pour les symboles, voir légende de Tab. VI)

RAPPORTS	ZONES A	B	C
% Nématodes 1B / % Nématodes 2A	0.68	4.84	3.17
n Nématodes 2A / n Copépodes	15.72	0.70	1.43

un rôle non indifférent en modelant la structure des biocénoses.

On a réalisé une étude approfondie de ce dernier aspect, en analysant l'évolution saisonnière de la taxocénose à Harpacticoïdes dans deux stations de la lagune (St. Nord dans le bassin septentrional et St. Centro dans le bassin méridional-central). Les échantillons ont été prélevés tous les quinze jours pendant une année (3 carottes de 5 cm de diamètre pour chaque station et pour chaque date).

La comparaison a été faite entre deux descripteurs d'état de la communauté : l'indice de diversité de Shannon et l'ajustement des données au modèle log-normal de Preston (mesuré avec l'indice de détermination, r^2, de la régression entre logarithme de l'abondance et probits des rangs des espèces) (DAGET, 1976). Certains auteurs considèrent ce modèle comme l'expression d'une situation d'équilibre entre les espèces d'une communauté non troublée (GRAY, 1981), et d'autres le considèrent en tant qu'expression d'une situation de «post-disturbance» avec une croissance non limitée des populations (PLATT et LAMBSHEAD, 1985). Pour nous, le modèle de Preston présente ici plus simplement un point de référence descriptif avec lequel on pourra comparer l'évolution de la diversité dans le temps.

Voyons ce qui se passe dans la St. Centro (Fig. 5). On observe ici une corrélation positive dans le temps entre diversité et ajustement (r^2) des données au modèle log-normal. Dans la même figure 5, à côté d'un exemple printanier qui présente de hautes valeurs, soit de l'indice de diversité, soit de l'indice de détermination, on peut voir l'illustration d'une autre situation, typique des mois d'été. La diversité est très basse lorsqu'un important écart par rapport à la log-normalité est provoqué par la nette dominance d'une espèce sur les autres. Cela semble correspondre à une situation de stress intense et prolongé au cours de laquelle on aura une forte diminution numérique de nombreuses espèces. En effet, pendant l'été, des déficits très marqués d'oxygène dissous demeurent dans les couches d'eau les plus profondes de la zone centrale de la lagune. Dans la St. Nord (Fig. 6) durant une grande partie de l'année, mais surtout dans les mois d'été, la corrélation entre diversité et ajustement des données d'abondance au modèle log-normal est négative. Les exemples de la figure 6 montrent qu'un fort écart des données vis-à-vis de la log-normalité, c'est-à-dire un r^2 plus bas, coïncide avec une équitabilité élevée et vice versa : on est probablement en présence, pendant l'été, d'une situation prolongée de «post-stress», c'est-à-dire dans une phase de récupération de la taxocénose avec une croissance non limitée des popula-

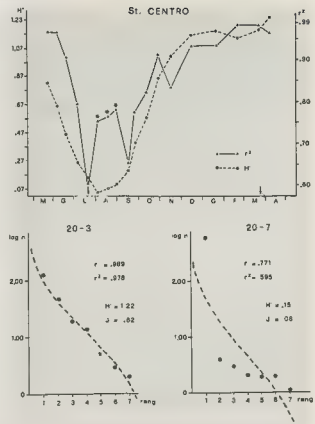


FIG. 5. — Taxocénose à Harpacticoïdes de la Station Centro. Variations saisonnières des valeurs de l'indice de diversité de Shannon (H') et de l'indice de détermination (r^2) de l'ajustement de données à la log-normalité (voir texte). En bas : deux exemples, aux dates indiquées par les flèches, de correspondance des données réelles (points noirs) à la courbe des individus prévue par le modèle log-normal ajusté ; r : coefficient de corrélation ; J : indice d'équitabilité de Pielou.

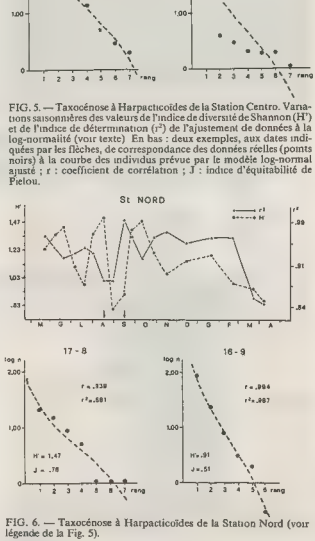


FIG. 6. — Taxocénose à Harpacticoïdes de la Station Nord (voir légende de la Fig. 5).

tions. Il n'est pas surprenant que cela se vérifie dans l'aire septentrionale de la lagune, où les états de stress sont probablement plus fréquents et ont un effet limité dans le temps

Cette interprétation, qui est en accord avec l'hypothèse d'équilibre dynamique de la diversité selon CONNEL (1978) et selon HUSTON (1979), amène à quelques réflexions sur le thème de la stabilité des écosystèmes lagunaires. Dans la zone septentrionale de la Sacca de Scardovari les conditions qui prédisposent à la crise dystrophique (enrichissement organique important, «input» énergétique élevé, «turnover» des sels nutritifs accéléré) sont probablement les mêmes qui, en définitive, favorisent une récupération rapide de la taxocénose. Au contraire, dans le bassin méridional-central ce sont les caractéristiques d'un écosystème contrôlé physiquement et à faible degré d'homéostasie qui semblent prédominer.

CONCLUSIONS

Les résultats des recherches sur la Sacca de Scardovari permettent, avant tout, de souligner la validité d'une approche écosystémique structurelle ; ils confirment, en même temps, la validité d'une ligne interprétative centrée sur l'analyse des fonctions biologiques, des interactions trophiques entre populations et entre communautés, des circuits rétroactifs qui connectent les unités structurelles du système

De même sont apparues les difficultés et les limites aussi bien d'ordre théorique que méthodologique de ce genre d'approche. Le point nodal de ces difficultés est probablement représenté par l'absence d'une théorie de l'organisation et de la diversité de la communauté. Dans cette situation nous sommes contraints de couvrir les vides de connaissance entre gradients hydrologiques et d'état trophique et gradients de structure des communautés lagunaires en déterminant et calculant des corrélations, et en continuant à faire recours à des concepts ambigus et mal définis d'un point de vue opérationnel, par exemple au concept de stabilité par rapport à la variabilité du milieu. En réalité, la variabilité n'est pas seulement brut, ni un facteur déstabilisant qui accroît la probabilité d'extinction des populations et réduit la diversité de la communauté ; dans des circonstances particulières, elle peut devenir un facteur qui retarde et prévient l'exclusion compétitive des espèces et favorise ainsi l'augmentation de la diversité.

Nous avons appris à nous méfier de concepts vagues et à fuir devant les articles de foi et les heux communs : les relations entre espèces vues seulement en tant que canaux de transfert de l'énergie, la séparation de la chaîne du «grazing» de celle du détritus, le fait que la diversité, en tant que paramètre macroscopique de l'écosystème, puisse faire abstraction des particularités morphologiques, dimensionnelles, éco-éthologiques des différentes taxocénoses, et ainsi de suite.

On estime que le point de vue écosystémique, dont nous nous sommes inspirés dans ces recherches, ne doit pas entraver mais au contraire stimuler des études de spécialistes, sur le détail des mécanismes, même à travers l'expérimentation en laboratoire et sur le terrain. L'aspect fondamental sur lequel l'on doit se mettre à l'épreuve, dans l'étude des lagunes comme dans d'autres domaines de l'écologie, nous semble être celui de se placer sur des filons de recherche ouverts, privilégiant des modèles et des approches n'impliquant pas uniquement la répétitivité et l'accumulation de données, mais qui produisent des idées et des hypothèses qui soient contrôlables expérimentalement.

L'expérience de Scardovari et, d'une façon plus générale, la réflexion sur le patrimoine des connaissances sur les milieux lagunaires italiens, nous conduit à proposer des actions de recherche sur des objectifs d'intérêt scientifique particulier, aussi bien théorique que d'application.

En voici une courte énumération :

— l'étude analytique des «patterns» spatio-temporels de la densité et de la diversité des biocénoses par rapport aux conditions locales de type hydrodynamique et trophique, aux stress du milieu (comme déterminants définis et décrits quantitativement), à la prédation, etc. ;

— l'étude des processus et des mécanismes qui sont à la base des phénomènes de distrophies des écosystèmes lagunaires ;

— les stratégies adaptatives des espèces résidentes (autochtones) et de celles immigrées ;

— les évènements «catastrophiques» (tempêtes, épisodes de distrophie, grande mortalité de poissons ou d'invertébrés) comme occasion d'expérimentation dans la nature ;

— le transport de matière organique et de biomasse fait par les courants de marée ; les échanges avec la mer ;

— l'évolution des milieux lagunaires.

Nous concluons en formulant un souhait : que les rapports entre chercheurs français et italiens qui s'occupent de milieux lagunaires puissent s'intensifier et prendre un caractère de continuité, dans un but d'échange fructueux d'idées et d'informations sur les activités de recherche respectives, pour rendre permanente une pratique de discussion ouverte sur le problèmes, sur les contenus et sur les méthodes de la recherche. On peut dès aujourd'hui penser même à l'importance du développement d'une collaboration active sur des projets communs. Nous espérons que des indications et des propositions nous engageant dans ce sens puissent naître de ce Colloque.

BIBLIOGRAPHIE

CECCHERELLI (V.U.), COLOMBO (G.), FERRARI (I.), GAIANI (V.) e ROSSI (R.), 1985. — Ricerche ecologiche nella Sacca di Scardovari. *Nova Thalassia*, 7, suppl. 2, 341-363.

CECHERELLI (V.U.), GAIANI (V.) and FERRARI (I.), 1987. —Trophic state gradients and zooplankton and zoobenthos distribution in a Po River Delta lagoon *Chemosphere*, 16, 571-580.

COLOMBO (G.), CECCHERELLI (V.U.) e FERRARI (I.), 1983. — Lo zooplancton delle lagune. *Nova Thalassia*, 6 suppl., 185-200.

CONNELL (J H.), 1978. — Diversity in tropical rainforests and coral reefs. *Science*, 199, 1302-1310.

COSPAV, 1982. — *Materiali per una bibliografia sulla Laguna e sul Golfo di Venezia*. Pellizzato (M.) e Scattolin (M.) Eds., Consorzio per lo Sviluppo della Pesca e dell'Acquicoltura del Veneto, 174 pp

DAGET (J), 1976. — *Les modèles mathématiques en écologie*. Masson, Paris, 172 pp.

FERRARI (I) e CARRIERI (A.). — Distribuzione e dinamica stagionale dei Cladoceri e dei Copepodi planctonici della Sacca di Scardovari. *Nova Thalassia*, sous-presse

FERRARI (I.) and CHIEREGATO (A.R.), 1981. — Feeding habits of juvenile stages of *Sparus auratus* L., *Dicentrarchus labrax* L. and Mugilidae in a brackish embayment of the Po River Delta. *Aquaculture*, 25, 243-257.

FERRARI (I.), CECCHERELLI (V.U.) et MAZZOCHI (M.G.), 1982. — Structure du zooplancton dans deux lagunes du Delta du Pô. *Oceanol. Acta*. N° SP, 293-302

FERRARI (I.), CECCHERELLI (V.U.) and COLOMBO (G.), 1984. — The trophic status of a deltaic lagoon in the Northern Adriatic Sea : the role of the filter feeders. *Proc. 2nd Internat. Symp. MESAEP*, Iraklion, Crete, September 1983, 355-373.

FERRARI (I.), CARRIERI (A.) et COEN (R), 1985. — Distribuzione delle taxocenosi planctoniche a Copepodi e Cladoceri nella Sacca di Scardovari. *Oebalia*, 9, 187-201.

GRAY (J.S.), 1981. — *The ecology of marine sediments*. Cambridge University Press, Cambridge.

HUSTON (M.), 1979. — A general hypothesis of species diversity. *Am. Nat.*, 113, 81-101.

LAMBSHEAD (P.J.D.), 1986. — Sub-catastrophic sewage and industrial waste contamination as revealed by marine nematode faunal analysis. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 29, 247-260

LANCE (G.N.) and WILLIAMS (W.T.), 1967. — A general theory of classificatory sorting strategies. I. Hierarchical systems. *Comput. J.*, 9, 373-380.

MARS (P.), 1966 — Recherches sur quelques étangs du littoral méditerranéen français et sur leurs faunes malacologiques. *Vie et Milieu*, 20 suppl., 1-350.

PÉRÈS (J.M.) et PICARD (J.), 1964. — Nouveau manuel de bionomie benthique de la Mer Méditerranée. *Rec. Trav. St mar. Endoume*, 31 (47), 1-137.

PLATT (H.M.) and LAMBSHEAD (P.J.D.), 1985. — Neutral model analysis of patterns of marine benthic species diversity. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 24, 75-81.

VATOVA (A.) e FAGANELLI (A.), 1951. — Le valli salse da pesca del Polesine. *Nova Thalassia*, 1 (10), 1-83.

WARWICK (R.M.), 1981. — The Nematod/Copepod ratio and its use in pollution ecology. *Mar. Poll. Bull.*, 12 (10), 329-333.

WIESER (W.), 1953. — Die Beziehung zwischen Mundhöhlengestalt, Ernährungsweise und Vorkommen bei freilebenden marinen Nematoden. *Ark. Zool.*, 2 (4), 439-484

Bull. Ecol., t. 18, 2, 1987, p. 159-167

LES MILIEUX PARALIQUES : DIVERSITÉ ET UNITÉ

par Jean-Pierre PERTHUISOT

Laboratoire de Biogéologie et Biostratigraphie, Université de Nantes, 2, rue de la Houssinière — 44000 NANTES

et Olivier GUELORGET

Laboratoire d'Hydrobiologie marine, USTL, Pl. E. Bataillon — 34000 MONTPELLIER UA (CNRS) 694

MOTS-CLÉS : Biogéologie - Paralique - Confinement - Actuel - Synthèse.

RÉSUMÉ

Après avoir décrit, à grands traits, l'organisation biogéologique des lagunes méditerranéennes et souligné le rôle du confinement (par rapport à la mer) dans la structure et le fonctionnement de ce type d'écosystème paralique, on cherche à généraliser ces conceptions aux autres milieux paraliques.

Les écosystèmes lagunaires d'autres provinces biogéographiques présentent une organisation identique. On montre, par ailleurs, l'analogie remarquable qui existe entre la zonation biologique horizontale des lagunes et la zonation biologique verticale que présentent les zones intertidales des rivages marins ouverts et l'on évoque le cas des «lagunes-estrans» où le confinement s'exerce de ces deux manières conjointement.

Ces considérations conduisent à proposer l'existence d'un domaine paralique original entre le domaine marin et le domaine continental, se substituant au concept d'interface entre ces deux domaines.

Enfin, il est fait allusion aux bassins intracontinentaux à peuplements lagunaires qui contribuent à compliquer encore le problème des relations entre les écosystèmes paraliques et l'ensemble de l'hydrosphère.

KEY-WORDS : Biogeology - Paralic - Confinement - Present - Synthesis.

SUMMARY

The biogeological organization of mediterranean lagoons is first briefly described and the role of the confinement (restriction with respect to the open sea) in the structure and functioning of that kind of paralic ecosystem is emphasized. Then it is attempted to generalize these conceptions to other paralic environments.

The lagoonal ecosystems of other biogeographical areas display the same organization. There is also an outstanding similarity between the horizontal biological zonation of lagoons and the vertical biological zonation of the intertidal margins of open marine coasts ; intertidal bays are submitted to both vertical and lateral confinement.

From these considerations the existence of an original paralic realm between Sea and Land is proposed as replacing the previous concept of an interface between these two realms.

Lastly, it is referred to those of the intracontinental basins which contain lagoonal populations : they add complexity to the relationships between the paralic ecosystems and the whole hydrosphere.

INTRODUCTION

L'étude comparée de l'organisation biogéologique (1) de nombreuses lagunes méditerranéennes et la lecture, forcément incomplète, de l'immense littérature concernant ces milieux paraliques (2) nous ont conduit à préciser une notion déjà utilisée par les géologues, celle de confinement. Nous ne reviendrons pas ici en détail sur cette notion qui a fait déjà l'objet de nombreux développements (GUELORGET et PERTHUISOT, 1982, 1983, 1984 ; GUELORGET *et al.*, 1983 a et b ; PERTHUISOT, 1983) mais nous nous proposons, à la lumière d'études réalisées en dehors de la Méditerranée, de chercher à savoir dans quelle mesure cette notion peut s'appliquer à d'autres aires paraliques, dans d'autres conditions biogéographiques, climatiques, hydrologiques.

(1) La biogéologie peut se définir comme l'étude de la place et du rôle des êtres vivants dans la constitution des objets géologiques, actuels et fossiles, à toutes les échelles.

(2) De para (à côté) et halos (le sel et par extension la mer). Terme employé initialement par Naumann (1854) pour qualifier les gisements de charbon déposés sous certaine influence marine, repris par Perthuisot (1975) pour désigner les bassins salins alimentés en sels par des eaux marines.

I — L'ORGANISATION BIOGÉOLOGIQUE DES LAGUNES MÉDITERRANÉENNES

1. La plupart des lagunes méditerranéennes sont des corps d'eau peu profonds (1-2 m) communiquant avec la mer par une ou plusieurs passes. Certains bassins, cependant, sont relativement plus profonds (4 m et plus) comme la lagune de Nador, la Bahiret el Biban, certains étangs de Corse orientale etc.

2. La marée faible à très faible (1 m maximum dans le Golfe de Gabès) permet cependant des échanges alternatifs aux passes. Les zones d'estran sont pratiquement inexistantes sauf au pourtour du Golfe de Gabès où elles constituent des sebkhas

3. La circulation des eaux dans chaque bassin est fonction presque exclusivement du régime des vents et éventuellement de la densité des eaux. Les courants de marée ne sont sensibles qu'au voisinage immédiat de la ou des passes sauf dans quelques cas : Bahiret el Biban (MEDHIOUB, 1979, 1984 ; MEDHIOUB et PERTHUISOT, 1981), Bahiret el Bou

Grara (JEDOUI,. 1979) dans le SE tunisien.

4. En règle générale, les paramètres physiques et chimiques (température, salinité, concentrations ioniques...) de chaque corps d'eau lagunaire s'organisent (de manière instantanée mais aussi statistiquement aux diverses échelles temporelles) en champs de valeurs : au voisinage de la ou des communications avec la mer, les valeurs de ces paramètres sont peu différentes de celles de la mer et varient peu;par contre, dans les zones marginales les moins influencées par les échanges avec la mer, ces paramètres peuvent présenter des valeurs non seulement fort différentes des valeurs marines, mais aussi beaucoup plus variables.

Ces gradients (écart avec les valeurs paramètriques du milieu marin adjacent, variabilité) sont déterminés par les conditions climatiques, météorologiques, hydrologiques locales et régionales d'une part et d'autre part, en chaque point du bassin considéré, par l'intensité des échanges avec le milieu marin ou son inverse que nous appelons le «confinement» (par rapport à la mer), terme que l'on peut traduire de manière intuitive par temps de renouvellement du milieu en éléments d'origine marine. Ainsi, le confinement n'a de valeur que dans les milieux paraliques : il est nul en milieu marin, théoriquement «infini» en milieu continental.

5. Les différents compartiments ou maillons biologiques des écosystèmes lagunaires méditerranéens étudiés (GUELORGET, 1985) s'organisent qualitativement de manière zonale. A cet égard, on doit distinguer les descripteurs instantanés (le phytoplancton par exemple) dont on appréciera mieux la zonation de manière statistique et les descripteurs intégrateurs (le benthos par exemple) qui rendent compte des qualités globales du milieu

Cette zonation est la même, aux vicariances près, pour toutes les lagunes méditerranéennes et l'on peut définir 6 zones (I à VI) à partir de la composition spécifique des peuplements benthiques (Annexe). Ces zones caractérisent les aires paraliques proches de la mer et qui comportent encore des espèces thalassoïdes (GUELORGET et PERTHUISOT, 1983, 1984) c'est-à-dire des espèces qui se rattachent aux lignées marines. Au-delà, vers le continent, on observe soit des peuplements où dominent les espèces dulçaquicoles soit des faunes et flores caractéristiques des saumures évaporitiques (PERTHUISOT, 1983 ; CORNEE, 1983).

A l'échelle de la Méditerranée, cette zonation est **indépendante du signe et de l'intensité des gradients physiques et chimiques, notamment de la salinité** bien que, dans chaque bassin, il y ait le plus souvent une bonne correspondance entre l'une et les autres. Cette double constatation conduit à proposer **que le «confinement» soit le facteur directeur de la zonation biologique**, les corrélations locales entre celle-ci et la salinité n'étant que secondaires *via* la balance hydrique de chaque bassin.

6. Cette zonation qualitative s'accompagne d'une variation quantitative de divers paramètres biologiques. La richesse spécifique décroît avec le confinement : A la faune et à la flore diversifiée des zones sous influence marine s'oppose la pauvreté spécifique des zones confinées. En zone VI, le benthos se réduit à un recouvrement cyanophytique, un Gastropode brouteur (*Hydrobia* ou *Pirenella*) et quelques Crustacés vagiles (*Sphaeroma, Gammarus*). La biomasse de la macrofaune benthique est maximale en zone III tandis que celle du phytoplancton est maximale en zone IV-V (FRISONI, 1984). Cette propriété des lagunes explique d'ailleurs qu'elles soient le siège d'une importante sédimentation de matière organique et qu'en outre elles enrichissent les zones néritiques marines adjacentes (AMANIEU et LASSERE, 1981). Enfin, la densité augmente avec le confinement.

7. Dans les lagunes de faible profondeur et à bathymétrie régulière, cette zonation s'exprime latéralement de façon plus ou moins concentrique à partir de la communication en fonction de la forme du bassin et du transit des eaux (Fig. 1 et

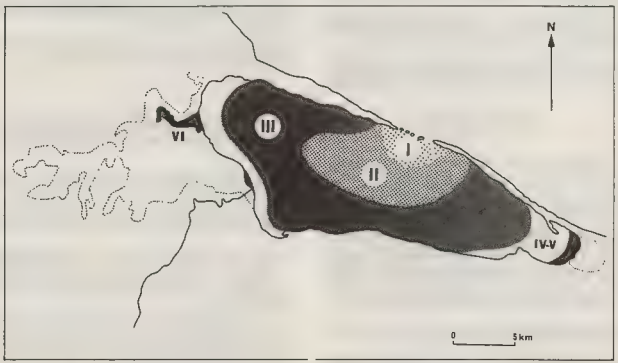


FIG. 1. — Carte schématique des zones de confinement dans la Bahiret el Biban (Sud Est tunisien).

2). Cette variation latérale régulière peut être altérée lorsqu'il existe des zones plus profondes limitées par des seuils. Les eaux qui y sont emprisonnées sont habituellement séparées du reste du corps d'eau lagunaire par une cline (thermique, haline...) et sont généralement très fortement confinées (absence de macrobenthos, sédimentation organique intense) ; c'est ce que l'on peut appeler un confinement bathymétrique.

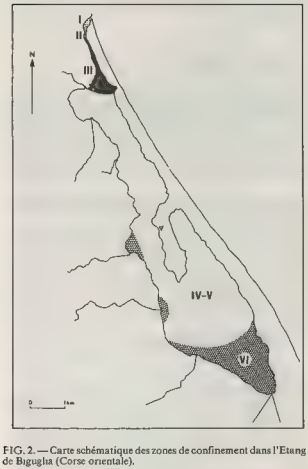


FIG. 2. — Carte schématique des zones de confinement dans l'Etang de Biguglia (Corse orientale).

8. La sédimentation s'organise en fonction de la bathymétrie, des caractéristiques physiques et chimiques du milieu et de l'activité biologique de celui-ci. C'est dire que la distribution des faciès sédimentaires est souvent sans rapport évident avec la variation spatiale de tel ou tel paramètre. Globalement cependant, on insistera sur l'importante quantitative des phases biogéniques (carbonates, matière organique, phosphates) dans la frange très productive où subsistent les espèces thalassoïdes, sur celles des sédiments évaporitiques (halite, gypse) dans les milieux sursalés et sur la dominance des phases détritiques terrigéniques vers le pôle dulçaquicole

9. En ce qui concerne la distribution des espèces thalassoïdes, nous en avions distingué 3 groupes (GUELORGET et PETHUISOT, 1983).

Les espèces «thalassiques», inféodées au milieu marin ne pénètrent en lagune qu'au voisinage immédiat des passes. Lorsqu'elles s'y étendent plus largement c'est que le bassin considéré ne subit qu'un très faible confinement. C'est le cas par exemple de la lagune de Nador au Maroc (GUELORGET *et al.*, 1984) ou du Lac de Bizerte en Tunisie (GUELORGET *et al.*, 1986 a). Ces espèces sont par exemple les Coralliaires, les Echinodermes, les Nudibranches, etc.

Les espèces «paraliques» ne se rencontrent qu'en lagune ou dans d'autres milieux paraliques (estuaires, rias...). Elles sont peu nombreuses, ont souvent des caractères archaïques et se rattachent en général à des groupes possédant des représentants en mer. Citons néanmoins l'existence parmi ces espèces paraliques de représentants des Chironomidés.

Les espèces «mixtes» ont été définies comme des espèces qui vivent habituellement en lagune mais que l'on rencontre aussi, du moins apparemment, en mer ouverte. Parmi celles-ci figurent notamment les Pélécypodes de la zone III, Vénéridés, Ostréidés. Sans abandonner cette catégorie, il nous paraît aujourd'hui que bon nombre d'espèces que nous y avions autrefois classées sont en fait paraliques mais qu'en revanche certaines portions de mer apparemment ouverte se comportent en fait comme des aires paraliques. Le confinement y serait alors lié à des phénomènes hydrodynamiques particuliers, contre-courants, upwellings, etc.

En définitive, en ne considérant que les seules lagunes méditerranéennes, la diversité des morphologies et des situations physiques et chimiques a longtemps caché une profonde unité biologique qui se traduit par une commune organisation des peuplements laquelle dénote, selon toute vraisemblance, un fonctionnement commun aux écosystèmes lagunaires. Le décalage systématique des maxima de la biomasse phytoplanctonique et de la biomasse benthique est significatif à cet égard.

On notera qu'il existe des baies subfermées qui contiennent des peuplements marins francs, c'est le cas de la Baie d'Amvrakia en Grèce (GUELORGET *et al.*, 1986 b) ; à l'inverse, certaines portions de mer apparemment ouvertes se comportent biologiquement comme des lagunes car elles sont soumises à un certain confinement : elles doivent être considérées comme paraliques. Ainsi se dessine, au moins sur le pourtour de la Méditerranée, un ensemble de milieux présentant une même organisation écologique, gérée par une grandeur essentielle, le confinement.

II — LES AIRES PARALIQUES EXTRA-MÉDITERRANÉENNES

1. *AUTRES LITTORAUX A FAIBLE MARÉE*

Les considérations précédentes s'appliquent sans difficulté autre que les déterminations spécifiques aux bassins paraliques d'autres provinces biogéographiques sur les côtes à faible marée. On y retrouve notamment une zonation semblable des peuplements benthiques ainsi que le décalage des maxima de la biomasse phytoplanctonique et de la biomasse de la macrofaune benthique. Les autres gradients (richesse spécifique, densité) sont de même conformes aux champs de confinement des bassins que nous avons étudiés, par exemple en Mer Rouge et dans le Golfe de Suez (IBRAHIM *et al.*, 1985 ; IBRAHIM, 1986) ou en Guadeloupe (GAUJOUS *et al.*, sous presse)

De même, les données qualitatives et quantitatives disponibles sur la Mer Baltique (SEGERSTRALE, 1957 ; ANDERSIN *et al.*, 1976) peuvent s'interpréter en termes de confinement et il est possible de proposer une carte des zones de confinement pour ce vaste bassin qui, de ce fait, doit être considéré comme paralique (Fig. 3).

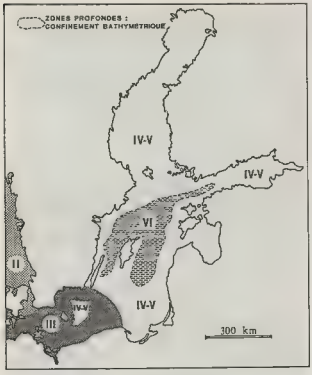


FIG. 3 — Carte des zones de confinement dans la Mer Baltique d'après les données de ANDERSIN *et al.* (1976) et SEGERSTRALE (1957)

2. *LES EFFETS DE LA MARÉE*

a) La zone intertidale des littoraux marins

De nombreuses études ont été consacrées à la zonation biologique des littoraux rocheux. Sur les côtes occidentales des États-Unis, elle se présente comme suit (DOTY, 1957).

— La frange dite infralittorale, située au voisinage de la ligne des plus basses mers, est caractérisée par une flore de Laminaires associées à des *Zostera* et *Phillospadix*. La faune, très diversifiée, comporte des groupes nettement thalassiques, Nudibranches, Tectibranches, Echinodermes, etc.

— La zone littorale comporte une faune et une flore différentes, plus pauvres en espèces. La partie inférieure de cette zone est caractérisée par la présence de Pélécypodes filtreurs (*Mytilus californianus*), tandis que la partie supérieure supporte encore une flore à *Fucus* et *Pelvetia* et une faune peu diversifiée mais riche en individus (*Balanus, Littorina, Patella*).

— La frange supralittorale, située au voisinage de la ligne des plus hautes mers, est souvent appelée «zone noire» à cause de la couleur que lui confère un revêtement de Cyanophycées (*Calothrix*). La faune n'est plus représentée que par un Gastéropode brouteur, *Littorina*, et un très petit nombre de Crustacés détritivores (*Lygia*).

On retrouve cette zonation (Fig. 4), sur toutes les côtes rocheuses, même celles qui ont les marées les plus faibles (PERES et PICARD, 1964). L'analogie entre cette zonation et celle qui existe dans les lagunes méditerranéennes est frappante malgré les différences dans la composition spécifique des peuplements : on peut mettre en équivalence la frange infralittorale avec les zones I et II, la zone littorale inférieure avec la zone III, la zone littorale supérieure avec les zones IV et V, la zone supralittorale avec la zone VI.

Une zonation analogue s'observe sur les platiers intertidaux constitués de sédiments meubles (en Baie de Bourgneuf par exemple) : elle est très voisine de celle des lagunes.

Ainsi, il nous semble que le modèle de la zone intertidale est tout à fait assimilable à un modèle paralique dans lequel le confinement pourrait se mesurer par la durée moyenne d'émersion : ceci correspond bien à la définition que nous en avons donné.

b) Les «lagunes-estrans»

Sur les littoraux soumis à forte marée, il existe des bassins qui possèdent une relation restreinte avec la mer à cause de la présence d'un cordon littoral récent : il s'agit donc de lagunes, cependant la plus grande partie de leur surface est occupée par un estran de marée. On peut qualifier ce type de bassin de «lagune-estran». Citons par exemple le Bassin d'Arcachon (GRANET, 1985) et la Ria Formosa au Portugal.

Le régime hydraulique des lagunes-estrans est sous la dépendance de divers phénomènes :

— la marée y induit des courants puissants et rapides dans les chenaux. La section de ceux-ci est schématiquement une fonction croissante de la puissance moyenne du courant

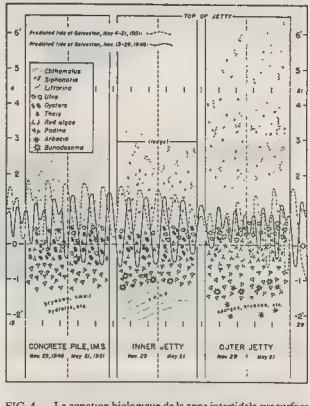


FIG. 4. — La zonation biologique de la zone intertidale sur surface rocheuse à Port Aransas (Texas). D'après HEDGPETH (1953) *in* DOTY (1957)

— la force de Coriolis a tendance, dans notre hémisphère, à dévier vers la droite les corps en mouvement et notamment les courants affectant les fluides.

— le régime des vents engendre une dérive périlittorale qui n'est sensible évidemment qu'à l'étale de haute-mer.

Ainsi, les chenaux sont le siège de courants alternés dont la puissance est maximale à mi-marée. Par contre, les parties supérieures des platiers ne supportent que des courants très faibles en fin de marée montante. On remarquera enfin que l'éloignement de la ou des communications s'accompagne d'un retard à la marée et d'un affaiblissement de son amplitude.

Ces particularités hydrologiques provoquent à chaque cycle de marée une fragmentation du plan d'eau établi à marée haute et ceci conduit à la juxtaposition de masses d'eau ayant séjourné pendant des laps de temps différents dans la lagune. Ces masses d'eau ont des propriétés physiques, chimiques et biologiques différentes et peuvent avoir tendance à se superposer en fonction de leur densité. Leurs zones de contact sont le siège d'une importante mortalité des êtres planctoniques ; elles se reconnaissent en surface par des traînées de mousse microbienne, la fréquence de débris macrophytiques à la dérive et par un aspect plus lisse de la surface de l'eau dont la tension superficielle est augmentée par la présence de matière organique dissoute.

Ainsi, l'hydrodynamisme d'une lagune-estran est beaucoup plus compliqué que celui d'une lagune méditerranéenne. Cependant le confinement s'y exerce schématiquement de deux manières :

— en fonction de l'éloignement hydrologique de la ou des passes. On rencontre les biofaciès peu confinés au voisinage de celle(s)-ci, les zones les plus confinées se trouvant à la périphérie du bassin (présence de tributaires, de zones sursalées) et éventuellement dans les couloirs de retour préférentiel des eaux.

— en fonction du temps d'émersion sur les platiers intertidaux de la même manière qu'il s'exerce sur la frange intertidale des littoraux marins.

Ceci explique qu'au voisinage de la communication les platiers présentent une zonation verticale comportant toutes les zones de confinement tandis que les platiers des délaissées marginales ne comportent qu'un petit nombre de zones mais bien évidemment les plus confinées. La zonation biologique de l'ensemble du système est donc oblique sur les courbes de niveau de l'estran avec une pente générale vers l'amont c'est-à-dire en direction du continent.

Dans les conditions précédemment décrites, l'essentiel de la production phytoplanctonique s'effectue dans la faible tranche d'eau qui recouvre les platiers à marée haute : il y est favorisé par le confinement mais aussi parce que le phytoplancton y bénéficie d'une surface accrue et donc d'une meilleure insolation ainsi que d'un apport substanciel de calories accumulées par les sédiments exondés à marée basse, du moins à la belle saison. C'est à marée descendante que le benthos, notamment les Pélécypodes filtreurs des zones II et III, profite surtout de cette biomasse fraîchement élaborée sur les parties supérieures des platiers. On ne doit pas oublier la contribution importante des tapis microphytobenthiques des parties sommitales des platiers dans la production de biomasse primaire.

c) Les estuaires

Des études récentes en Baie de Somme (DUCROTOY, 1986) montrent que le concept de confinement y est applicable et qu'on y retrouve six zones aux caractéristiques analogues à celles que nous avons décrites. Dans certains cas cependant, la distribution des organismes benthiques se complique, en particulier du fait qu'à marée basse le lit du fleuve est soumis à l'influence dominante des eaux continentales et donc à un fort confinement, alors qu'à marée haute l'influence marine domine. Il en résulte, dans la zone intertidale, des inversions apparentes de la distribution zonale C'est ainsi, par exemple, que dans le petit estuaire de l'Untxin (Baie de St Jean de Luz) la zone IV à *Nereis diversicolor, Ulva lactuca*, etc., se retrouve topographiquement au-dessous de la zone III à *Ostrea* et *Mytilus*.

3. *CONCLUSIONS*

Ainsi, les écosystèmes paraliques se caractérisent, au-delà de leur diversité morphologique, hydrologique, hydrodynamique, hydrochimique et sédimentologique, par une structure et une organisation biologiques communes. La notion de confinement, malgré une définition intuitive et une évaluation empirique, permet d'«expliquer» cette organisation biologique globale mais aussi les particularités ou les exceptions apparentes que présente chaque aire paralique.

Cette notion permet aussi d'«expliquer» l'organisation hydrochimique et sédimentologique des corps paraliques lorsqu'on l'associe à d'autres facteurs pertinents : le climat, la météorologie, l'hydrogéologie, etc.

Enfin, les considérations précédentes conduisent à admettre qu'entre mer et continent existe une frange paralique continue, ne serait-elle constituée que de la zone intertidale aussi réduite qu'elle soit. Elles justifient, à nos yeux, le regroupement de tous les milieux paraliques en un Domaine Paralique autonome, distinct du Domaine Marin d'une part et du Domaine Continental de l'autre, et qui mérite des études originales au même titre que les deux autres. L'étude des séries fossiles ne peut que renforcer cette opinion (PERTHUISOT, 1980 ; BUSSON, 1972).

Remarques

Le «Domaine Paralique» ne correspond pas à l'ensemble des milieux dits «à salinité variable» (PLAZIAT, 1982) car dans certains bassins lagunaires la salinité est constante ; en outre, il existe des zones du domaine marin qui comportent des peuplements marins et qui possèdent des salinités anormales voire variables ; enfin, on rencontre des milieux à salinité variable au cœur des continents (PERTHUISOT, 1975, 1976, 1980 ; PERTHUISOT et JAUZEIN, 1975).

Il ne correspond pas non plus à l'ensemble des milieux dits «margino-littoraux» (LEVY, 1970) : la Mer Baltique et la Mer Noire sont paraliques en quasi-totalité et on ne saurait les qualifier de margino-littorales.

Une des propriétés les plus remarquables du confinement est qu'il s'applique à toutes les échelles spatiales : ainsi, dans un partènement salinoir abandonné près de Santa Pola (Espagne) on passe de la zone III à la zone VI en quelques centaines de mètres (Fig. 5) alors que les zones III à V s'étendent sur plus de 1.500 km dans la Baltique (Fig. 3). C'est qu'en fait le confinement dépend, dans chaque bassin, de l'efficacité de la communication avec la mer et des circulations à l'intérieur de celui-ci vis-à-vis de sa taille et de son volume. Ainsi, tous les bassins paraliques sont semblables, au sens géométrique du terme.

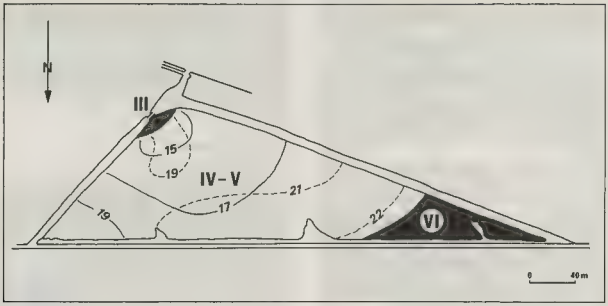


FIG. 5 — La zonation biologique d'un partènement salinier (Triangulo de las Bermudas, Santa Pola, Espagne). D'après PERTHUISOT *et al.*, 1983.

III — LES BASSINS INTRACONTINENTAUX A PEUPLEMENTS PARALIQUES

Dans la zone saharienne, de nombreux bassins intracontinentaux fossiles contiennent les restes de peuplements constitués d'espèces typiquement paraliques (*Cerastoderma glaucum* en est l'espèce caractéristique). Ces bassins «lacustres» d'âge würmien, dont la plupart n'ont en aucun cas pu communiquer avec la mer, posent évidemment d'irritantes questions.

La nature actuelle nous offre quelques exemples de tels bassins : la Mer Caspienne et la Mer d'Aral, le Lac du Fayoum en Egypte.

La Mer Caspienne (77.000 km², 436 000 km²) est séparée du domaine marin depuis la fin du Tertiaire, c'est-à-dire plusieurs millions d'années. Cependant, elle contient encore 60 % de formes thalassoïdes (ZENKEVITCH, 1957) et n'est donc pas passée dans le domaine continental. L'essentiel du bassin se situe, d'après les faunes benthiques, dans les zones III et VI, les zones les plus confinées se trouvant être dans la partie nord du bassin, soumise à de puissants apports continentaux et, par ailleurs, de profondeur relativement modérée (Fig. 6).

La Mer d'Aral, qui a une histoire géologique très voisine, mais dont les profondeurs sont beaucoup plus faibles, présente un degré de confinement beaucoup plus élevé, avec des peuplements beaucoup plus riches en espèces dulçaquicoles.

Ainsi, le paramètre profondeur joue un rôle important dans la vitesse de confinement d'un bassin qui se sépare de la mer ; on peut encore dire que plus un bassin est profond, plus

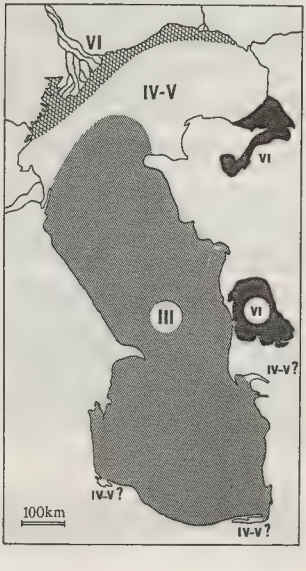


FIG. 6. — Carte schématique des zones de confinement dans la Mer Caspienne d'après les données de ZENKEVITCH (1957). Cette carte concerne seulement la tranche d'eau superficielle (0-200 m).

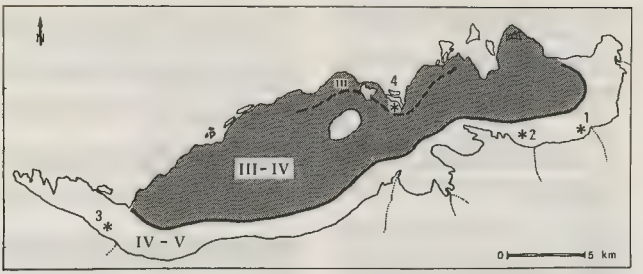


FIG. 7. — Carte schématique des zones de confinement dans la Birket Karoun (Lac du Fayoum). D'après IBRAHIM (1986).

sa réponse biologique à une restriction des échanges avec la mer est lente. Nous avons suggéré (GUELORGET et PERTHUISOT, 1983) que le confinement agit sur les peuplements par un appauvrissement du milieu en certains éléments «vitaux» d'origine marine (ou en tous cas provenant essentiellement de la mer) qui seraient consommés et immobilisés par les êtres vivants eux-mêmes. Or l'activité de ceux-ci est fonction de l'énergie solaire disponible et donc au plus proportionnelle à la surface de chaque bassin alors que les réserves initiales en éléments vitaux lors de son isolement de la mer sont proportionnelles au volume d'eau. Ainsi, en cas de restriction (ou de suppression) de la communication avec la mer, dans les bassins à tranche d'eau pelliculaire, le gradient de confinement atteint rapidement son équilibre. Dans les bassins profonds au contraire, l'appauvrissement du milieu et la stabilisation du confinement sont beaucoup plus longs. Dans le cas extrême d'isolement total, il faut un temps considérable pour que survienne leur totale continentalisation.

Le cas du Lac du Fayoum (Birket Karoun) est très différent des précédents. On peut montrer en effet (IBRAHIM, 1986) qu'il est fortement improbable que le bassin ait communiqué avec la mer depuis le Pliocène (et, à cette date, il ne semble pas avoir existé). On montre en outre que les eaux du lac, uniquement alimenté par le système nilotique, se perdent en profondeur sous le Désert Oriental. On ne saurait donc envisager une quelconque influence marine, même fossile, sur le corps d'eau actuel. La balance en eau et en sels y maintient cependant une salinité voisine de celle de la mer mais la composition ionique, notamment anionique, en est différente. Le lac comporte des peuplements essentiellement paraliques avec même quelques espèces «mixtes» (Venéridés, Soles, Muges). On peut enfin y déceler une zonation (Fig. 7) conforme à un gradient de confinement croissant orienté N-S, le gradient de salinité étant orienté S-N (l'essentiel des apports d'eau se fait sur la rive sud du bassin).

Nous nous garderons d'ouvrir ici le débat sur l'origine des espèces qui peuplent le lac du Fayoum (LEVY, 1983, 1985) en rappelant toutefois que l'Egypte est une terre de civilisation millénaire et que l'imagination humaine est fertile.

Le cas du Lac du Fayoum est remarquable car, à le considérer, on n'échappe pas à l'idée que certaines eaux continentales concentrées se comportent vis-à-vis des êtres vivants comme des eaux paraliques, c'est-à-dire presque marines. D'ailleurs, les eaux océaniques ne sont-elles pas des eaux continentales concentrées ?

IV — CONCLUSIONS

Ainsi, par un étrange retour, la question se retrouve posée de la place des écosystèmes que, par commodité, l'on peut continuer à appeler paraliques, dans l'hydrosphère. La réponse passe à l'évidence par la connaissance du mode d'action de ce que, faute de mieux, on peut continuer à appeler le confinement. Les recherches à entreprendre à cet égard sont vraisemblablement d'ordre physiologique, microchimique et biochimique, sans négliger pour autant l'observation et l'expérimentation *in situ*. Enfin, on se gardera de délaisser les objets fossiles et les faits passés car les relations de la biosphère avec les divers systèmes et domaines de l'hydrosphère ne peuvent se comprendre que dans la perspective de l'évolution de l'une et de l'autre.

BIBLIOGRAPHIE

AMANIEU (M.) & LASSERE (G.), 1981. — Niveaux de production des lagunes littorales méditerranéennes et contribution des lagunes à l'enrichissement des pêches démersales. *Etud. rev C.G.P.M.*, 58, 81-94.

ANDERSIN (A.-B.), LASSIG (J.) & SANDLER (H.), 1976. — Community structures of soft-botton macrofauna in different parts of the Baltic in KEEGAN B.F., CEIDIGH P.O. et BOADEN P.J.S. (ed.) Biology of benthic organisms. Eleventh European Symposium on Marine Biology, Galway, October 1976. Pergamon Press, London.

BUSSON (G.), 1972. — Principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien. *Mém. Mus. Nat Hist Nat.*, Paris, C, 26, 441 p.

CORNEE (A.), 1983. — Sur les bactéries des saumures et des sédiments de marais salants méditerranéens. Importance et rôle sédimentologique. *Doc. GRECO 32 (Nature et genèse des faciès confinés)*, 3, 126 p.

DOTY (M S), 1957. — Rocky Intertidal Surfaces *In* HEDGPETH J.W. (Ed.): Treatise on Marine Ecology and Paleoecology. *Mem. Geol. Soc. America*, 67, 1, 535-585

DUCROTOY (J.-P.), 1986 — Application des notions de confinement au milieu paralique de la Baie de Somme. *XIIème Colloque U.O F., Journ. Rech. Oceanogr.* 11, 1, p. 5.

FRISONI (G.-F.), 1984. — Contribution à l'étude du phytoplancton dans le domaine paralique. *Thèse Doc. Ing. USTL Montpellier*, 171 p.

GAUJOUS (D.), GUELORGET (O.) & PERTHUISOT (J.-P.), sous presse — Macrobenthofaunal organization in lagoons of Guadeloupean Mangroves (Lesses Antilles). Rôle and expressions of the confinement. *Journ. Coastal Research.*

GRANET (C.), 1985. — Contribution à la connaissance de l'organisation biogéologique du Bassin d'Arcachon. *Rapp. GIS Aquaculture Sud Vilaine,* 53 p

GUELORGET (O.), 1985. — Entre Mer et Continent. Contribution à l'étude du domaine paralique. *Thèse Doc. Etat USTL Montpellier*, 721 p.

GUELORGET (O.) & PERTHUISOT (J.-P.), 1982. — Structure et évolution des peuplements benthiques en milieu paralique. Comparaison entre un modèle dessalé (l'Etang du Prévost, France) et un modèle sursalé (la Bahiret el Biban, Tunisie). Conséquences biologiques et écologiques. *Journ. Rech. Océanogr.*, VII, 2.3.4., 2-11.

GUELORGET (O.) & PERTHUISOT (J.-P.), 1983. — Le domaine paralique. Expressions géologiques biologiques et économiques du confinement. *Trav. Lab. Géol. ENS*, Paris, 136 p.

GUELORGET (O.) & PERTHUISOT (J.-P.), 1984. — Indicateurs biologiques et diagnose écologique dans le domaine paralique. *Bull. Ecol.*, 15, 1, 67-76.

GUELORGET (O.), FRISONI (G.-F.) & PERTHUISOT (J.-P.), 1983 a. — La zonation biologique des milieux lagunaires : définition d'une échelle de confinement dans le domaine paralique méditerranéen. *Journ. Rech. Océanogr.*, VIII, 1, 15-36.

GUELORGET (O.), FRISONI (G.F.) & PERTHUISOT (J.-P.), 1983 b. — Caractérisation écologique des milieux en domaine paralique. Critères de choix des paramètres utiles. *Bull. Ecol* , 14, 1, 25-34.

GUELORGET (O.), FRISONI (G -F.), MONTI (D.) & PERTHUISOT (J.-P.), 1984. — Contribution à l'étude hydrochimique, sédimentologique de la lagune de Nador (Maroc). *Rapp. FAO/-MEDRAP*, 82 p

GUELORGET (O.), FRISONI (G.-F.), PERTHUISOT (J.-P.) & FRESI (E.), 1986 a. — Diagnose écologique et zonation biologique du Lac de Bizerte. Applications aquacoles. *Rapport FAO/-MEDRAP*, 42 p.

GUELORGET (O.), FRISONI (G.-F.), MONTI (D.) & PERTHUISOT (J P.), 1986 b. — Contribution à l'étude écologique des lagunes septentrionales de la Baie d'Amvrakia (Grèce). *Oceanologica Acta*, 9, 1, 9-17.

IBRAHIM (A.), 1986. — Contribution à l'étude biogéologique de bassins paraliques égyptiens. *Thèse Doc Etat, Univ Nantes, 252 p.*

IBRAHIM (A), GUELORGET (O.), FRISONI (G.-F.), ROUCHY (J.-M.), MAURIN (A.) & PERTHUISOT (J.-P) — Expressions hydrochimiques, biologiques et sédimentologiques des gradients de confinement dans la lagune de Guemsah (Golfe de Suez, Egypte). *Oceanologica Acta*, 8, 3, 303-320.

JEDOUI (Y.), 1979. — Étude hydrologique et sédimentologique d'une lagune en domaine méditerranéen : la Bahiret el Bou Grara (Tunisie). *Thèse 3ème cycle Univ. Bordeaux*, 190 p.

LEVY (A.), 1970. — Contribution à l'étude des milieux marginolittoraux. Influence des facteurs hydrologiques et sédimentologiques sur les peuplements microfaunistiques. *Thèse Doc. Etat Université P. et M. Curie, Paris*, Multig., 450 p.

LEVY (A.), 1983. — Données nouvelles sur la paléogéographie du Sud tunisien au Quaternaire supérieur. *Benthos'83 , 2nd Int Symp. Benthic foraminifera*, 369-379.

LEVY (A.), 1985. — Une nouvelle conception de l'origine énigmatique des *Cerastoderma glaucum* quaternaires du Sahara. *C.R Acad. Sci.*, 301,II, 6, 437-442.

MEDHIOUB (K.), 1979. — La Bahiret el Biban. Étude géochimique et sédimentologique du Complexe paralique de la dépression de Ben Guirden. *Thèse Doc. Etat Univ. P. et M. Curie, Paris*, 372 p.

MEDHIOUB (K.), 1984. — Étude géochimique et sédimentologique du Complexe paralique

MEDHIOUB (K.) & PERTHUISOT (J.-P.), 1981. — The influence of peripheral sabkhas on the geochemistry and sedimentology of a tunisian lagoon : Bahiret el Biban. *Sedimentology*, 28, 679-688.

NAUMANN (C.F.), 1854. — *Lehrbuch der Geognosie*, II, Leipzig.

PERES (J M) & PICARD (J.), 1964. — Nouveau manuel de bionomie benthique de la Mer Méditerranée. *Rec Trav St. mar Endoume*, 31 (47) , 137 p.

PERTHUISOT (J.-P.), 1975. — La Sebkha el Melah de Zarzis. Genèse et évolution d'un bassin salin paralique. *Trav. Lab. Géol Ecole norm. sup.*, Paris, 9, 252 p.

PERTHUISOT (J.P.), 1976. — Une sebkha sulfatée sodique en pays sédimentaire : La Sebkha Oum el Kraiate (S. tunisien). *Géol. Médit* , III, 4, 265-274

PERTHUISOT (J.-P.), 1980. — Sites et processus de la formation d'évaporites dans la nature actuelle. *Bull. Centre Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine*, 4, 1, 207-233.

PERTHUISOT (J.-P.), 1983. — Introduction générale à l'étude des marais salants de Salin-de-Giraud (Sud de la France) : le cadre géographique et le milieu. *Géol. Médit.*, IX, 4, 309-327.

PERTHUISOT (J.-P.) & GUELORGET (O.), 1983. — Le confinement, paramètre essentiel de la dynamique biologique du domaine paralique. *Sci. Géol. Bull.*, 36, 4, 239-248.

PERTHUISOT (J.-P.) & JAUZEIN (A.), 1975. — Sebkhas et dunes d'argile : l'enclave endoreique de Pont du Fahs, Tunisie. *Rev. géogr. phys. Géol. Dynam.* Paris, (2), XVII, 3, 295-306

PERTHUISOT (J.-P), GUELORGET (O.), FRISONI (G.-F.) & MAURIN (A.), 1983. — Expressions hydrochimiques, sédimentologiques et biologiques du gradient de confinement dans un partènement salinier abandonné : le triangle des Bermudes (Santa Pola, Espagne). *Journ. Rech. Océanogr.*, VIII, 1, 38-56.

PLAZIAT (J.C.), 1982. — Introduction à l'écologie des milieux de transition eau douce - eau salée par l'identification des paléoenvironnements correspondants. Critique de la notion marginolittoral. *Mém. Soc. géol. Fr , NS, 144, 187-206.*

SEGESTRALE (S.G), 1957. — *Baltic sea. In* HEDGPETH J W. (Ed.), Treatise on Marine Ecology and Paleoecology *Mem. Geol. Soc. America*, 67, 1, 751-800

ZENKEVITCH (L. A.), 1957. — Caspian and Aral seas. *In* HEDGPETH J.W. (Ed.) : Treatise on Marine Ecology and Paleoecology. *Mem. Geol. Soc. America*, 67, 1, 891-916.

ANNEXE

LA ZONATION BIOLOGIQUE DU BENTHOS DES LAGUNES MÉDITERRANÉENNES

Zone I — Zone comprise entre les degrés 0 et 1 : dans cette zone située à proximité immédiate des communications avec la mer et qui n'est qu'une continuation du domaine marin, la macrofaune est composée de nombreuses espèces strictement thalassiques appartenant généralement au cortège faunistiques de la biocénose des Sables Fins Bien Calibrés (S.F.B.C.) (PÉRÈS et PICARD, 1964).

Zone II — Zone comprise entre les degrés 1 et 2 : à partir du degré 1, on peut considérer que la pénétration dans le domaine paralique est effective. La macrofaune benthique est caractérisée par la perte des espèces sensibles strictement marines, les plus «sténohalines». On y rencontre encore des Mollusques : *Mactra corallina, M. glauca, Tellina tenuis, Donax semistriatus, D. trunculus, Acanthocardia echinata, Dosinia exoleta*, les Polychètes : *Audouinia tentaculata, Magelona papillocornis, Owenia fusiformis, Phyllodoce mucosa, Pectinaria koreni*, les Crustacés : *Portumnus latipes*, et les Échinodermes : *Asterina gibbosa, Holoturia polii, Paracentrotus lividus*, et enfin notons la présence de *Branchiostoma lanceolatum* dans les faciès sableux exempts de «pollution organique».

La macroflore phanérogamique est marquée par la perte de *Posidonia oceanica* et la dominance de petites Phanérogames telles que *Cymodocea nodosa, Zostera noltii* et *Caulerpa prolifera*

La limite de cette zone (degré 2) est marquée par la disparition totale des Échinodermes.

Zone III — Zones comprise entre les degrés 2 et 3 : cette zone est dominée par les «espèces mixtes» (*Venerupis decussata, V. aurea, Scrobicularia plana, Corbula gibba, Loripes lacteus, Gastrana fragilis, Akera bullata, Nephthys hombergii, Armandia cirrosa, Glycera convoluta, Upogebia littoralis*...) en ce qui concerne la macrofaune benthique.

Zone IV — Zone comprise entre les degrés 3 et 4 : le degré 3 est défini par la perte de toute faune thalassique et les espèces présentes sont strictement paraliques : (*Abra ovata, Cerastoderma glaucum, Hydrobia acuta, Nereis diversicolor, Gammarus insensibilis, G. aequicauda, Corophium insidiosum*...).

La macroflore est caractérisée par l'apparition de *Ruppia spiralis.*

Zone V — Zone comprise entre les degrés 4 et 5 : dans cette zone, la production phytoplanctonique (Diatomées pennées, Cyanophycées) est maximale ; la surface du sédiment est en voie de colonisation par les Cyanophycées. Ainsi la sédimentation est essentiellement organique et le milieu interstitiel hautement réducteur.

Le peuplement est composé essentiellement d'une faune vagile comprenant des Crustacés détritivores (*Sphaeroma hookeri, S. rugicauda, Corophium insidiosum, Idotea balthica*), des Gastropodes brouteurs (*Hydrobia acuta, Pirenella conica*), des Polychètes comme *Nereis diversicolor*, et des larves de *Chironomidae* dans la tranche tout à fait supérieure du sédiment (quelques millimètres). Dans cette zone, et tout particulièrement dans les milieux très sous-salés, apparaissent les éléments de la faune dulçaquicole (Tricoptères, Oligochètes, Odonates). Par ailleurs, dans les milieux sursalés, on peut éventuellement rencontrer des éléments de la faune évaporitique (*Artemisia salina*).

Les herbiers, lorsqu'ils existent, sont dominés soit par *Potamogeton pectinatus*, soit par les Characées, avec éventuellement des herbiers mixtes.

Zone VI — Zone comprises entre les degrés 5 et 6 : cette zone représente le passage au paralique lointain, soit dulçaquicole, soit évaporitique et se caractérise habituellement par la colonisation quasi-totale du substrat par les cyanobactéries formant des tapis algaires ou des édifices stromatolithiques. Le passage à l'eau douce est marqué par l'apparition d'espèces dulçaquicoles strictes et par la persistance de quelques espèces paraliques vagiles (*Sphaeroma hookeri, Microdeutopus gryllotalpa, Gammarus insensibilis*). Les milieux subévaporitiques se caractérisent par l'absence de macrofaune benthique, à l'exception de brouteurs qui fréquentent momentanément cette zone pour des raisons trophiques (broutage des tapis algaires).

Aux confins de cette zone s'arrête le proche paralique avec la disparition des Foraminifères qui coïncide, vers le pôle évaporitique, sensiblement avec la disparition des édifices stromatolithiques bien constitués.

Au-delà, dans le paralique lointain, le rôle du confinement semble s'atténuer, du moins dans l'état actuel de nos connaissances.

Bull. Ecol., t. 18, 2, 1987, p. 169-175

L'INFLUENCE DU BASSIN VERSANT SUR LE FONCTIONNEMENT DES LAGUNES MÉDITERRANÉENNES CONCEPTS D'EUTROPHISATION ET DE CONFINEMENT. Exemple d'application : l'étang de Sanga Giulia (Corse)

par Guy-François FRISONI

Institut des Aménagements Régionaux et de l'Environnement, Domaine de Lavalette Avenue du Val de Montferrand — 34100 MONTPELLIER — France

MOTS-CLÉS : Domaine paralique - Eutrophisation - Confinement -Bassin versant - Gestion

KEY-WORDS : Paralic realm - Eutrophisation - Confinement - Water catchment area - Management.

RÉSUMÉ

Le fonctionnement d'une lagune est régit en grande partie par la nature des relations hydriques qu'elle possède avec les milieux voisins : le domaine marin d'une part, le domaine continental d'autre part. Le degré d'échange avec la mer ou degré de confinement est responsable de l'organisation des peuplements lagunaires.

L'intensité et la nature des apports du bassin versant modifient cependant cette organisation, allant parfois jusqu'à perturber les relation trophiques au sein des écosystèmes lagunaires. Ces apports sont sous la dépendance directe d'activités humaines comme l'agriculture, l'urbanisation et le tourisme

A travers divers exemples du littoral méditerranéen, en particulier des lagunes corses et languedociennes, nous proposons une mise au point sur l'importance des apports du bassin versant dans le fonctionnement des écosystèmes lagunaires. A ce titre nous discutons les concepts de confinement et d'eutrophisaion et analysons leur utilisation en matière de gestion des écosystèmes paraliques.

SUMMARY

Water catchment area influence on mediterranean lagoons. Eutrophication and confinement concepts. Application on Santa Giulia lagoon (Corsica)

The functionning of a lagoon is mostly regulated by the hydric relations with the environning areas : the ocean and the land. The degree of confinement due to the influence of sea waters is responsible for the biotic organisation.

The quantity and the quality of the flux coming from the water catchment area modify this organisation up to changing the trophic relations among the lagoon ecosystem. All this directly depends on human activities like agriculture, urbanisation and tourism.

Throughout various examples in the mediterranean areas, particularly in Corsica and Languedoc, we shall try to give a synthesis about the importance of this hydric relations.

Thus we shall comment the confinement and eutrophisation concepts and analyse their application in the paralic ecosystem management.

INTRODUCTION

L'organisation et le fonctionnement des lagunes littorales comme de tout écosystème du domaine paralique sont en grande partie dépendants de la nature des relations ou échanges hydriques qu'elles entretiennent avec les milieux voisins, le domaine marin d'une part, le domaine continental d'autre part.

Les échanges avec le domaine marin se font le plus souvent par l'intermédiaire des passes ou chenaux (les graus de la région Languedoc) entaillant le cordon littoral. L'intensité de ces échanges peut être traduite en chaque point du domaine paralique par le degré de confinement. Cette notion proposée par GUELORGET et PERTHUISOT (1982) traduit le «temps mis par l'eau en provenance de la mer pour atteindre le point considéré» (GUELORGET et PERTHUISOT, 1983). Le confinement ainsi défini est responsable de l'organisation biologique des lagunes littorales (GUELORGET *et al.*, 1983) et peut être mis en évidence dans tous les milieux paraliques quelles que soient leurs caractéristiques halines (GUELORGET et PERTHUISOT, 1982 — GUELORGET et PERTHUISOT, 1983).

L'intensité et la nature des échanges avec le bassin versant est cependant susceptible de modifier l'organisation biologique originale du domaine paralique. Ainsi tout apport d'eau douce en provenance du domaine continental constitue un frein à la pénétration des eaux marines dans les lagunes littorales intervenant alors, en dépit de son influence positive sur le taux de renouvellement, comme un facteur de confinement.

L'influence du bassin versant ne se limite cependant pas à la quantité d'eau apportée mais intervient également par la qualité de ces eaux modifiant alors le fonctionnement des écosystèmes paraliques, notamment en ce qui concerne les relations biotiques.

Par ailleurs l'aménagement de ces écosystèmes repose le plus souvent sur des modifications de ces différents échanges hydriques. Des cours d'eau sont ainsi détournés vers les étangs littoraux afin d'augmenter leur taux de renouvellement. Ces apports souvent très riches en éléments nutritifs sont cependant supposés participer à l'eutrophisation des plans d'eau exutoires Les procédures mises en oeuvres sur les lacs continentaux sont alors proposées pour assurer la gestion (ou la protection) des lagunes littorales : établissement de normes de rejet en fonction du seuil d'acceptabilité du milieu vis-à-vis d'un élément particulier (le phosphore par exemple).

La question se pose alors de savoir si l'on est en mesure de gérer ces milieux sur la bases d'une connaissance suffisante de leur fonctionnement écologique. Les interactions entre l'influence des eaux marines (notion de confinement) et celle de la limnologie (*sensus stricto*) au domaine paralique, et la mise en place des procédures mises au point pour la gestion des lacs d'eau douce ?

I — LES RELATIONS ENTRE LE DOMAINE CONTINENTAL ET LE DOMAINE PARALIQUE

Le fonctionnement hydraulique d'une lagune littorale dépend des apports d'eau douce (pluies, ruissellement en provenance du bassin versant, apports des cours d'eau), des échanges avec la mer (apports d'eau marine, export d'eau lagunaire), des pertes par évaporation et de la morphologie du bassin (volume, profondeur). La comparaison entre les apports d'eau douce et l'évaporation permet de définir le déficit hydrique du bassin.

Ces différentes grandeurs sont déterminées facilement à partir des relevés cartographiques, météorologiques et physico-chimiques (salinité) (FRISONI, 1984 ; VAULOT et FRISONI, 1986).

A partir des quantités Qf [apports annuels en provenance du bassin versant], Qr [apports des pluies directes sur le plan d'eau], Qe [perte par évaporation], Δh [déficit hydrique = Qe - Qf - Qr], Qs [apports annuels en provenance de la mer], Ql [quantité d'eau lagunaire exportée annuellement vers la mer] et V [volume du bassin paralique], nous distinguerons parmi les lagunes littorales (FRISONI, 1984, tableau 1) :

1) des milieux bien renouvelés où l'influence prépondérante provient soit du bassin versant (Qf/V élevé) : ce sont souvent des lagunes peu profondes dont la polytypie haline souligne à la fois l'hétérogénéité spatiale et la variabilité temporelle de l'écosystème; soit de la mer (Qs/V élevé) ; ce sont alors des lagunes profondes, homogènes ne subissant que des variations minimes de la salinité.

2) des milieux peu renouvelés caractérisés par des échanges restreints tant avec leur bassin versant qu'avec la mer (Ql/V faible)

La notion de confinement ne recoupe pas celle de renouvellement des eaux exprimée par le rapport Ql/V. Cependant l'estimation du confinement peut être appréciée par l'examen du rapport Qs/Qf (FRISONI, 1984).

Cette approche très globale ne permet pas d'apprécier les bilans hydriques instantanés de chaque lagune (tels que ceux issus d'une modélisation hydrodynamique), ni d'individualiser chaque point de la lagune comme le permet une analyse de son organisation biologique en fonction du concept de confinement.

En outre, cette approche néglige les relations fondamentales existant entre le plan d'eau et ses rives immédiates. Les travaux de CORRE *et al.* (1982) ont montré en effet l'exis-

TABLEAU 1

Valeurs comparées des échanges hydriques, de la richesse nutritive des eaux et des gammes de biomasse chlorophyllienne dans quelques lagunes méditerranéennes, d'après FRISONI, 1984

	Ql/V	Qf/V	Qs/V	Qs/Qf	Δh	Richesse nutritive des eaux		Amplitude du gradient de biomasse chlorophyllienne valeurs instantanées en mg/m³
						$N.NO_3$ µatg/l	$P.PO_4$ µatg/l	
THAU	10	0,3	9,7	32	-71	1,3	2,48	0,1 - 13
MAUGUIO	3,5	2,9	1,1	0,4	-77	16,2	1,93	0,5 - 592
PREVOST	+	-	+		-			1,3 - 7,8
BIGUGLIA	2,2	1,9	0,7	0,4	-31	4,2	0,47	0 - 72,0
DIANA	7,7	0,5	7,1	14,2	-14,5	1,0	0,37	0,1 - 9,5
URBINO	0,9	0,2	0,7	3,5		5,1	0,30	0,1 - 5,0
LOGAROU		-	(+)	(+)	+			0,2 - 2
NADOR	1,9	0,25	2,0	7,6	44,0			0,2 - 2
EL BIBAN	1,4	0,01	1,7	146,7	239,5			0,4 - 1

Qf = Apports du bassin versant ; Qr = apports directs (pluie) sur le plan d'eau ; Qe : évaporation
Δh = Déficit hydrique (Qe - Qf - Qr)
Qs = Apports marins
Ql = Volume d'eau lagunaire exporté vers la mer
Volumes : 10^6 m³
Débits : 10^6 m³/an

tence de biocénoses particulières sur les bourrelets constituant les rives d'étangs temporaires en basse Camargue, ainsi que l'importance, au niveau de ces bourrelets, des échanges de matières organiques et minérales entre le milieu aquatique et le milieu terrestre. L'ignorance de ces processus en matière d'aménagement (mise à franc bord des rives par exemple) peut avoir de facheuses conséquences (telles que la réduction des exportations de matière organique) sur l'écosystème étang.

Sans remettre en cause l'unicité du domaine paralique sur le plan de son organisation biologique en fonction du confinement, nous verrons que le degré d'influence du bassin versant, variable d'une lagune à l'autre, se traduit par une modification des relations trophiques au sein de l'écosystème soumis à cette influence.

BALEUX et TROUSSELLIER (1981) ont montré que les apports du bassin versant riches en matières organique et minérales favorisent la prolifération de macrophytes (*Ulva, Enteromorpha...*) et de bactéries hétérotrophes. L'apparition des crises dystrophiques dans les lagunes littorales constitue une des conséquences de cette eutrophisation.

L'influence du bassin versant est également perceptible lorsque l'on s'intéresse à l'évolution du peuplement phytoplanctonique (FRISONI, 1984 ; VAULOT et FRISONI, 1986). En effet, l'observation et la comparaison de cinq lagunes (Thau, Maugio, Biguglia, Diana, Urbino.) du littoral méditerranéen français fait apparaître une augmentation de la biomasse phytoplanctonique (mesurée par la teneur des eaux en chlorophylle a) en liaison directe avec l'élévation de la concentration des eaux en nitrates et phosphates. Sur la base d'une comparaison avec les travaux de LUND (1970) sur des lacs continentaux, VAULOT et FRISONI (1986) émettent également l'hypothèse d'une meilleure assimilation de l'azote d'une moins bonne assimilation du phosphore dans les bassins paraliques. Par ailleurs, ces travaux montrent qu'en fonction du rapport N/P un des éléments peu s'avérer limitant vis-à-vis de la production primaire phytoplanctonique.

L'évolution de l'étang de Biguglia (Corse) entre les périodes 1978-1979 et 1980-1981 montre que, dans cette lagune fortement influencée par son bassin versant (cf. tableau 1), l'élévation du niveau trophique primaire peut être attribuée à une augmentation conjointe des taux d'azote et de phosphore (tableau 2).

TABLEAU 2

Évolution de l'étang de Biguglia (Corse) entre 1978 et 1981 Comparaison entre la richesse nutritive des eaux (Azote-Phosphore) et le niveau trophique phytoplanctonique

	Nitrates µ at g/l	Phosphates µ at g/l	Biomasse Chloro-phyllienne mg Chl a/m³	Production photosynthétique mg C/m²/j
1978-1979	4,2	0,4	3,0	284
1980-1981	9,9	0,80	11,6	405,7

Ainsi il semble bien que le concept d'eutrophisation puisse être appliqué aux écosystèmes du domaine paralique.

FRISONI (1984) a cependant montré que l'augmentation du niveau trophique primaire (mesuré par la teneur en chlorophylle) à l'échelle d'une lagune était également liée à un degré croissant de confinement depuis la communication avec la mer jusque vers les zones périphériques.

Le tableau 1 permet la comparaison d'une part des écosystèmes soumis à une influence prépondérante du bassin versant et des écosystèmes soumis à une influence prépondérante des eaux marines, d'autre part des écosystèmes ayant un déficit hydrique négatif et des écosystèmes ayant déficit hydrique positif. Il apparaît que si le gradient de biomasse phytoplanctonique en fonction du confinement est toujours présent, les amplitudes les plus élevées se rencontrent dans les bassins subissant des apports d'eau douce importants.

Si l'augmentation du niveau trophique primaire dans les lagunes est donc gérée en partie par le confinement, l'influence du bassin versant apparaît comme un facteur important de l'eutrophisation du milieu. Outre l'apport d'éléments nutritifs, elle constitue un frein vis-à-vis de l'influence marine et renforce ainsi l'effet de confinement.

Les éléments nutritifs issus du bassin versant proviennent du lessivage des sols mais également des activités humaines sources d'effluents (urbanisation, industries agro-alimentai-

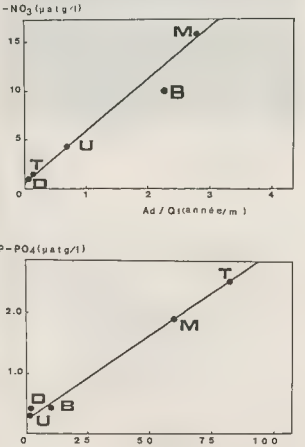


FIG. 1. — Relations entre la concentration en sels nutritifs dans les eaux et les caractéristiques des bassins versants des étangs de Thau (T), Maugio (M), Biguglia (B), Diana (D) et Urbino (U). (Ad = surface du bassin versant, Qi = volume d'eau lagunaire exportée annuellement, Pop. = nb. d'habitants sur le bassin versant)

res...). VAULOT et FRISONI (1986) ont montré (Fig. 1) que la concentration en nitrates des eaux lagunaires est proportionnelle à la surface du bassin versant et inversement proportionnelle à la quantité d'eau lagunaire exportée annuellement vers la mer. La concentration en phosphate est quant à elle proportionnelle à la population du bassin versant.

L'azote et le phosphore présents dans les sols du bassin versant ne présentent pas le même comportement vis-à-vis du ruissellement des eaux (BELAMIE, 1985). L'azote provient essentiellement du lessivage des sols ; son apport peut être ainsi considérablement augmenté à la suite d'épandages agricoles précédant une période de pluies. Le phosphore, moins sensible au ruissellement des eaux du bassin versant, est essentiellement fourni par les effluents domestiques. Par ailleurs, dans la lagune, le taux d'azotes en grande partie sous forme dissoute, est dépendant du taux de renouvellement des eaux, tandis que le phosphore souvent lié à la matière particulaire, sédimente et constitue ainsi un «capital» qui s'accumule.

Pour un rapport N/P compris entre 2 et 12, VAULOT et FRISONI (1986) considèrent que l'augmentation de la charge en éléments nutritifs peut conduire à une eutrophisation du milieu.

Dans une telle éventualité la limitation du taux de phosphate ne peut s'envisager que par une politique d'assainissement des rejets domestiques. En ce qui concerne l'azote toute action sur le bassin versant s'avérant difficile, il convient de proposer une amélioration du taux de renouvellement (augmentation de Ql) en favorisant les échanges avec la mer. On retrouve alors une convergence des concepts d'eutrophisation et de confinement quant à leur application en matière de gestion.

II — EXEMPLE D'APPLICATION

Sur la base de ces considérations théoriques nous présenterons l'évolution récente de l'étang de Santa Giulia (Fig. 2) Petit plan d'eau de 24 hectares situé au Sud-Est de la Corse, ce milieu a subi de profondes modifications liées à l'augmentation de l'activité humaine sur son bassin versant et ses rives immédiates. L'analyse de photographies aériennes (noir et blanc ou couleur) issues de campagnes IGN (en 1952, 1962, 1971, 1975, 1979 et 1982) permet de visualiser l'histoire récente de cet écosystème.

Les figures 3 à 8 constituent des interprétations de ces différents clichés. La date signalée est celle de la prise de vue et non celles des événements relatifs à l'interprétation proposée, ceux-ci ayant pu intervenir dans les années (voir la décennie) précédentes.

Ces interprétations ont été, dans la mesure du possible confrontées aux analyses effectuées sur le terrain (observations personnelles à partir de 1976, enquête auprès des riverains...).

Les descriptions de la fin du siècle dernier (archives SRAE Bastia, document de mars 1889) font état d'un étang libre de toute prolifération algale, sans aucune fermentation sur les fonds, eux-mêmes uniformément constitués de sable propre : le grau toujours ouvert sur la baie a une largeur de 90 à 100 m, les profondeurs sont faibles (quelques décimètres).

En 1952 (Fig. 3) la photo aérienne présente un étang sans doute peu différent de celui du siècle dernier. Aucun aménagement n'est visible ni dans l'étang, ni à sa périphérie ou sur son proche bassin versant. Seul un chemin mène de la route nationale à la pointe nord de l'étang. L'ouverture sur la mer, située à l'extrême sud a une largeur d'environ 80 m. Un rétrécissement du lido est également visible dans sa partie nord. Il correspond certainement à une zone de communica-

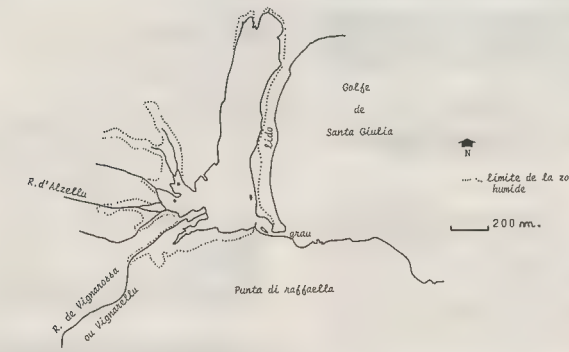


FIG. 2. — L'étang de Santa Giulia (Corse.

tion temporaire avec la mer, comme en témoigne le dépôt de sable situé dans l'étang à proximité de ce «passage». Les plus fortes tempêtes brisaient probablement le cordon lagunaire en ce lieu favorisant périodiquement le passage d'eau et de sables marins. La présence de ce grau est signalée par certaines personnes, née par d'autres, ce qui confirmerait son caractère temporaire.

En 1962 (Fig. 4) les premiers aménagements touristiques apparaissent. Une route longe le lido et permet l'accès à l'hôtel construit au Sud. Un dépôt est visible au Nord du grau, il correspond aux déblais consécutifs au nettoyage du lido et de la plage (retrait des laisses de posidonies en particulier) rendu nécessaire par la fréquentation touristique. La rive nord de la baie est sillonnée de chemins donnant accès aux premiers camps de vacances. Le grau temporaire et le dépôt de sable contigu sont moins visibles. Une pêcherie (barrage de pieux de bois et de fascines) est installée en travers du lido, une levée de terre donnant accès à ce barrage depuis la rive sud, réduit considérablement la largeur du grau. Cette pêcherie a fonctionné pendant 2 ans.

En 1971 (Fig 5) le bassin versant est occupé par des vignes. Celles-ci ont été plantées au cours des années 60 lors du développement agricole des plaines littorales. Une cave vinicole construite entre la route et l'étang rejette eaux (lavages de cuves) et résidus (marc, moût, etc...) dans un affluent de l'étang. Le développement de l'activité touristique s'est poursuivi et un camp de vacances est installée sur la moitié nord du lido. Les eaux usées de ce camp aboutissent, sans traitement, à l'étang par l'intermédiaire d'une canalisation. Sur la surface de l'eau, jusqu'à présent libre de toute prolifération algale, apparaît un développement d'algues macrophytes, la largeur du grau n'est que de 20 mètres au point le plus étroit. A proximité de l'ancien grau temporaire, preuve de la stabilisation de cette partie du lido, la végétation halophile a colonisé le dépôt de sable visible en 1952.

En 1976 (Fig. 6) le quart du plan d'eau est couvert par les macrophytes, les dépôts de posidonies sur les rives se poursuivent.

En 1979 (Fig. 7) les développements macrophytiques occupent la quasi-totalité du plan d'eau. A cette période ces développements persistent tout l'année. Des développements des Chromatiacées témoignant de l'anoxie du milieu sont souvent visibles à la surface de l'eau. Les odeurs nauséabondes (H_2S) en période estivale constituent une gêne sensible pour les riverains. Différents rapports de l'administration font alors état de la dégradation de ce plan d'eau et préconisent un certain nombre de mesures afin d'améliorer la situation (Rapports communiqués par la DDASS d'Ajaccio et datant des années 1979 et 1980).

En 1982 (Fig. 8) certains de ces aménagements sont visibles sur les photos aériennes : la cave vinicole s'est dotée de bassins d'évaporation évitant théoriquement tout rejet dans l'étang, le camp de vacances est pourvu d'une station de traitement des effluents par voie biologique, les riverains ouvrent le grau lorsque celui-ci se colmate en été. L'aire occupée par la couverture macrophytique semble avoir régressée, tout au moins dans la partie sud.

Ces différentes observations très ponctuelles de l'étang de Santa Giulia ont permis de dresser un historique dont l'objectivité est sans doute biaisée par la qualité inégale des clichés et l'absence de «vérités terrain» simultanées, cependant l'interprétation suivante peut être fournie :

Avant les années soixante la circulation des eaux dans l'écosystème, dépend des apports naturels du bassin versant d'une part, des échanges avec la mer d'autre part. Le bassin versant est recouvert par le maquis, le lessivage des terres est réduit sur ce sol cristallin, les eaux superficielles sont peu chargées en éléments nutritifs. Les échanges avec la mer se font par l'intermédiaire du grau sud relativement large. Lors des tempêtes la mer pénètre en un second point situé au Nord et assure de façon ponctuelle un meilleur renouvellement des eaux.

A partir de 1962, l'édification de la route littorale consolide le lido et supprime l'apport d'eau marine dans la partie

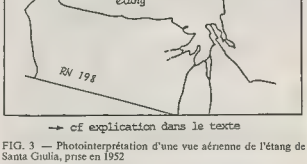


FIG. 3 — Photointerprétation d'une vue aérienne de l'étang de Santa Giulia, prise en 1952

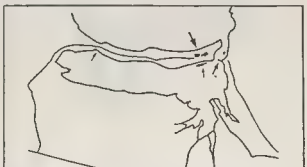


FIG. 4. — Photointerprétation d'une vue aérienne de l'étang de Santa Giulia, prise en 1962 (début de l'intervention humaine).

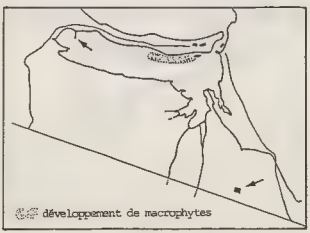


FIG. 5. — Photointerprétation d'une vue aérienne de l'étang de Santa Giulia, prise en 1971

nord. Désormais, les échanges hydrauliques dépendent essentiellement des apports du bassin versant ou de la mer dans la partie sud, le bassin nord, représentant la surface la plus importante, est de ce fait isolé et confiné.

FIG. 6. — Photointerprétation d'une vue aérienne de l'étang de Santa Giulia, prise en 1975 (Eutrophisation du plan d'eau).

FIG. 7. — Photointerprétation d'une vue aérienne de l'étang de Santa Giulia, prise en 1979

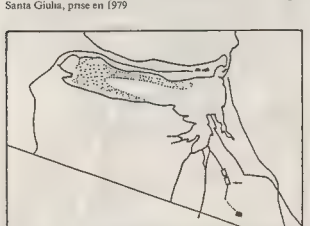


FIG. 8. — Photointerprétation d'une vue aérienne de l'étang de Santa Giulia, prise en 1982 (Traitements des rejets).

Par ailleurs, l'installation de la pêcherie et surtout de la digue attenante, diminuent la largeur du grau et par voie de conséquence les échanges avec la mer.

A la même époque la démaquisation du bassin versant va favoriser le lessivage des terres et l'apport d'éléments nutritifs (azote, phosphore) à l'étang

Des rejets riches en matière organique et minérale provenant de la cave vinicole, du club de vacances (1.200 personnes en 1979) et de l'hôtel (20 chambres en 1979) provoquent l'enrichissement des eaux et par voie de conséquence la prolifération de végétaux (macrophytes) et l'accumulation de matière organique. L'étang est en voie d'eutrophisation. Des crises dystrophiques interviennent régulièrement en période estivale.

Les désagréments accompagnant cette évolution entraînent une prise de conscience collective incitant la mise en place de différents systèmes d'épuration : amélioration du fonctionnement de la station d'épuration du club de vacances, rejet des eaux usées de la cave dans deux bassins d'évaporation. Ces mesures permettent assez rapidement un ralentissement du processus d'eutrophisation ; ceci se traduit par une diminution de la couverture macrophytique.

En 1985 ces mesures s'avèrent cependant encore insuffisantes (ANONYME, 1985) ; l'État (Conservatoire du Littoral) et les collectivités locales sont alors contraints d'envisager également un aménagement du grau afin d'améliorer le taux de renouvellement de l'étang.

Ce bref historique est assez significatif de l'évolution d'un écosystème aquatique littoral sur lequel l'Homme a modifié certains échanges hydriques fondamentaux (apports du bassin versant, échanges avec la mer).

Il illustre de manière significatives les liens existant entre l'équilibre écologique d'une lagune littorale et ses relations avec la mer d'une part, avec le bassin versant d'autre part. A cet égard, il faut souligner les convergences existant entre les concepts d'eutrophisation et de confinement en particulier dans leur application finalisée à la gestion des bassins paraliques.

DISCUSSION-COMMENTAIRE

Les concepts écologiques permettant d'appréhender l'étude des lagunes littorales, en particulier ceux qui sont susceptibles d'en expliquer l'organisation biologique et le fonctionnement peuvent sembler contradictoires sur bien des points. La notion de confinement insiste sur l'importance des relations avec le domaine marin, alors que la notion d'eutrophisation, à l'instar des travaux réalisés sur les lacs continentaux, met l'accent sur les apports du bassin versant. Nous avons tenté sur la base d'exemples pratiques de souligner leurs intérêts respectifs et parfois leurs convergences en matière d'aide à la gestion de ces écosystèmes soumis de manière croissante à l'influence des activités humaines. Remarquons en particulier que plus un étang est confiné, plus il sera sensible au processus d'eutrophisation.

Ces considérations font cependant apparaître l'insuffisance de notre connaissance du domaine paralique en particulier en ce qui concerne certains aspects de son fonctionnement. Ceux-ci devraient faire partie des axes de recherche future en écologie du domaine paralique :

— Étude intégrée de l'unité fonctionnelle constituée par le bassin versant et son exutoire.

— Appréciation des flux et des cycles biogéochimiques affectant en particulier l'azote et le phosphore — notion de capacité d'assimilation.

— Quantification des échanges hydriques (sur les plans qualitatif et quantitatif) entre les trois domaines marins, continentaux et paraliques à partir d'une réelle modélisation hydrodynamique.

Remerciements

Je remercie tout particulièrement l'AGENC (Association pour la Gestion des Espaces Naturels de la Corse) et le Conservatoire des Espaces Lacustres et du Littoral qui m'ont fourni les éléments de réflexion relatifs à l'évolution de l'étang de Santa Giulia.

BIBLIOGRAPHIE

ANONYME, 1985. — Situation actuelle de l'écosystème «Étang de Santa Giulia» et perspective d'avenir en vue de sa gestion. *Rapport Déc. 1985. Conservatoire de l'Espace Littoral et des Rivages Lacustres* - 62 p.

BALEUX (B.) & TROUSSELIER (M.), 1981. — Effets des apports polluants sur un écosystème lagunaire méditerranéen et conflit avec les productions aquicoles. *Étude Rev. Cons. Gén. Pêches Méditer.*, 58, 305-320

BELAMIE (R.), 1983. — Étude des pollutions diffuses en territoire rural - Éléments de méthodologie - Application à l'étude de bassins versants représentatifs. Comm. au colloque - Eutrophisation et pollution du Leman - 31/7 - 3/9/1983 - *rapp. ronéo.*, 48 pp.

CORRE (J.J.), BIGOT (L.), BILLES (G.), BOUAB (N.), COULET (E.), GAUTIER (G.), HEURTEAUX (P.), PONT (D.) & SKEFFINGTON (S.), 1982. — Structures et peuplements des rives d'étangs temporaires en basse Camargue. *Bull. Ecol.*, 13 (4), 339-356

FRISONI (G.-F.), 1984. — Contribution à l'étude du phytoplancton dans le domaine paralique. *Thèse de Docteur Ingénieur* 1984 - USTL Montpellier, 171 pp.

GUELORGET (O.) & PERTHUISOT (J.-P.), 1982. — Structure et évolution des peuplements benthiques en milieu paralique. Comparaison entre un modèle dessalé (Étang du Prévost, France) et un modèle sursalé (La Babiret el Biban, Tunisie). *Journ. Rech. Océanogr.*, VII (2, 3, 4), 2-11.

GUERLORGET (O.), FRISONI (G.-F.) & PERTHUISOT (J.-P.), 1983. — La zonation biologique des milieux lagunaires : définition d'une échelle de confinement dans le domaine paralique méditerranéen. *Journ. Rech. Océanogr.*, VIII, (1), 15-36

GUELORGET (O.) & PERTHUISOT (J.-P.), 1983. — Le domaine paralique, expressions géologiques, biologiques et économiques du confinement. *Trav. lab. géol. Ecole Norm. Sup. Paris*, 16, 135 p.

LUND (J.W.G.), 1970. — Primary production. *Water treat Exam*, 19, 352-358.

VAULOT (D.) & FRISONI (G.-F.), 1986. — Phytoplanctonic productivity and nutrients in five mediterranean lagoons. *Oceanologica acta*, 9, (1), 57-63.

IL RIPOPOLAMENTO A PENEIDI DEGLI AMBIENTI SALMASTRI : UN CONTRIBUTO ALLA LORO GESTIONE PRODUTTIVA IN ITALIA

par Febo LUMARE

Istituto per lo Sfruttamento Biologico delle Lagune
Consiglio Nazionale delle Ricerche, 71010 LESINA — Italia

MOTS-CLÉS : Crevettes - *Penaeus japonicus* - Repeuplement - Production - Lagunes.

RÉSUMÉ

En Italie, l'élevage des crevettes du genre **Penaeus japonicus** *a franchi le stade de la recherche expérimentale et s'engage dans la phase de production. Les actions de repeuplement des eaux saumâtres par des crevettes en vue d'en accroître la production constituent un des champs d'application concrète. Les expériences menées dans ce domaine depuis 1979 se sont multipliées au cours de ces dernières années et ont intéressé différents milieux. Des interventions de repeuplement de milieux naturels par* **Penaeus japonicus** *ont été effectuées dans la Lagune de Orbetello (Toscane ; 2.700 ha), la Lagune de Burano (Toscane ; 140 ha), la Lagune de Monaci (Latium ; 95 ha), la Lagune de Lesina (Poulles ; 5.000 ha), la lagune de Varano (Pouilles ; 6.000 ha), le lac de Acquatina (Pouilles ; 45 ha), l'Etang de cirdu (Sardaigne ; 24 ha).*

Le pourcentage de récupération des crevettes de dimensions commerciales varie selon les caractéristiques générales des bassins et les modalités de gestion halieutique. Ce taux oscille entre 26,7 et 46,0 % dans la Lagune de Varano (pour 1984 et 1985), 20,4 et 32,5 % dans la Lagune de Lesina (de 1981 à 1985) ; en outre, les valeurs suivantes ont été enregistrées : 10,4 % (1985) dans le Lac de Acquatina, 4,7 % (1985) dans l'Etang de Cirdu, et 1,5 % (1983) dans la Lagune de Orbetello. Ces valeurs indiquent l'existence d'une corrélation entre la quantité et la qualité de la population piscicole naturelle qui exprime la pression des prédateurs et les pourcentages de prises de crevettes pénéidés. Lorsque cette pression est marquée (170 kg/ha/an de produit naturel) les prises de crevettes pénéidés de dimensions commerciales restent faibles (Lagune de Orbetello) ; par contre, si la production naturelle est très réduite (Lagune de Varano où l'on enregistre une production naturelle de 22,7 hg/ha/an) les captures de **P. japonicus** *sont plus importantes.*

RIASSUNTO

L'allevamento dei gamberi, basato sul Peneide **Penaeus japonicus**, *sta passando in Italia dalla fase di ricerca sperimentale alla fase produttiva. Uno degli indirizzi applicativi è rappresentato dagli interventi di ripopolamento e gamberi in ambienti salmastri allo scopo di incrementarne la produzione. Le esperienze in tal senso, avviate fin dal 1979, sono state intensificate in questi ultimi anni e sviluppate in contesti ambientali diversificati. Azioni di ripopolamento in ambienti naturali con* **P. japonicus** *sono stati effettuati nella Laguna di Orbetello (Toscana ; 2.700 ha), nella Laguna di Burano (Toscana ; 140 ha), Laguna di Monaci (Lazio ; 95 ha), Laguna di Lesina (Puglia ; 5.000 ha), Laguna di Varano (Puglia , 6 000 ha), Lago di Acquatina (Puglia ; 45 ha), Stagno di Cirdu (Sardegna ; 24 ha).*

La percentuale di recupero dei gamberi alla taglia di mercato oscilla in relazione alle caratteristiche generali dei bacini ed a quelle gestionali (anni 1984 e 1985), dal 20,4 al 32,5 % nella Laguna di Lesina (dal 1981 al 1985) ; è, inoltre, risultata del 10,4 % (1985) nel Lago di Acquatina, del 4,7 % (1985) nello stagno di Cirdu e dell' 1,5 % (1983) nella Laguna di Orbetello. Tali valori sono indicativi della correlazione esistente tra la quantità e la qualità della popolazione ittica naturale, che esprime la pressione dei predatori, e le percentuali di cattura del Peneide. Laddove la pressione è elevata (170 kg/ha all'anno di prodotto naturale) il recupero dei Peneidi a taglia di mercato è risultato basso (Laguna di Varano ; produzione naturale pari a 22,7 kg/ha/anno) la cattura di P. Orbetello), per contro, se la produzione naturale era bassa (Laguna di Varano : produzione naturale pari a 22,7 kg/ha/anno) la catturadi **P. japonicus** *è stata elevata.*

INTRODUZIONE

Penaeus japonicus Bate 1888 riveste elevato interesse come oggetto da allevamento nel Sud-Est asiatico (BARDACH *et al.*, 1972 ; SHIGUENO, 1975). Da alcuni anni la specie è stata introdotta in Europa e, più precisamente, in Francia (1971), in Italia (1978) e, recentemente in Spagna (1983 ; LUMARE e CASOLINO, 1986). Il Peneide è stato trapiantato anche in Brasile dove viene allevato su vasta scala e già nel 1983 sosteneva una produzione di 180 t (LUMARE, 1986).

Malgrado l'origine indo-pacifica *P. japonicus* è penetrato, attraverso il Canale di Suez, nel Mar Mediterraneo diffondendosi lungo le coste dell'Egitto, di Israele, del Libano, della Siria e della Turchia, dove costituisce oggetto di pesca (HOLTHUIS, 1980 ; SHIBER, 1976 ; LUMARE, 1985 ; DOWIDAR and RAMADAN, 1972 ; HOLTHUIS and GOTTLIEB, 1985 ; GELDIAY and KOCATAS, 1968).

Ritrovamenti del Peneide asiatico sono stati segnalati lungo le coste meridionali della Jugoslavia (FILIC, 1980 ; communicazione personale), alle foci dell'Ebro in Spagna (RODRIGUEZ, 1984 ; communicazione personale) e sulla costa italiana dell'Adriatico centrale (LUMARE e CASOLINO, 1986).

In Italia *P. japonicus* è stato oggetto di studio sulla maturazione sessuale indotta (LUMARE, 1981) e sull'allevamento

larvale. Parallelamente sono stati avviati interventi di ingrasso su scala produttiva (LUMARE, 1983). Secondo i seguenti indirizzi :

a) allevamento semi-estensivo e policoltura (LUMARE *et al.*, 1986) ;

b) monocoltura estensiva a gestione controllata (LUMARE *et al.*, 1985 ; LUMARE *et al.*, 1985 ; LUMARE *et al.*, 1986). ;

c) ripopolamento in ambienti salmastri (LUMARE e HIRAMATSU, 1982 ; LUMARE, 1984).

Questo ultimo orientamento è stato assunto con lo scopo di sviluppare una tecnologia idonea a portare un sostanziale contributo alla risoluzione del progressivo impoverimento della pesca nelle acque salmastre ; pertanto fin dal 1979 sono state avviate indagini di ripopolamento con *P. japonicus* in lagune costiere caratterizzate da differenti condizioni ambientali. La fig. 1 riporta le aree di intervento dal 1979 ad oggi.

FIG. 1. — Localizzazione delgi interventi sperimentali di ripopolamento con *Penaeus japonicus* nei diversi ambienti salmastri della costa italiana, dal 1979 ad oggi.

MODALITA DI INTERVENTO

La semina di post-larve di *Penaeus japonicus* avviene, di norma, in una zona d'acqua in prossimità della riva, caratterizzata da fondo molle, preferibilmente sabbioso. E' sufficiente una superficie di circa 200 m² per poter rilasciare da 200.000 a 300.000 unità di novellame. Il fondo viene ripulito del materiale eterogeneo eventualmente presente e che può costituire rifugio di eventuali predatori. La superficie dell'area, recintata con rete da 2 mm, prima di essere chiusa completamente viene agitata per costringere alla fuga i pesci presenti ; per rendere più efficace tale operazione, una volta chiuso il recinto viene trascinata sul fondo una rete per catturare i predatori rimasti.

Le post-larve vengono liberate intorno al sub-stadio P22, essendo sufficientemente robuste per adattarsi al nuovo ambiente. In genere la semina viene effettuata quando la temperatura dell'acqua è superiore ai 14°C ; tuttavia previo breve periodo di acclimatazione il novellame del Peneide può sopportare temperature anche più basse. I giovani gamberi nel volgere di qualche ora si rifugiano nel substrato molle ; all'indomani la rete viene tolta e nottetempo la popolazione si distribuisce su un areale più ampio. Se esiste buona disponibilità trofica le post-larve permangono per lungo tempo sul luogo di semina, altrimenti tenderanno ad occupare un areale più ampio coprendo distanze anche di qualche decina di chilometri. Dopo circa tre mesi *P. japonicus* ha già raggiunto la taglia commerciale e quindi potrà essere pescato con nasse in rete, preferibilmente prima che la temperatura dell'acqua scenda al di sotto dei 18°C. Sotto tale valore il Peneide diventa sempre più restio a muoversi e pertanto sarà più difficile catturarlo ; la qual cosa diventa praticamente impossibile sotto i 9°C.

CONDIZIONI PER IL RIPOPOLAMENTO

Per intraprendre interventi di ripopolamento a Peneidi in ambienti lagunari, con possibilità di successo, è necessario che esistano alcune condizioni favorevoli.

Un primo aspetto da verificare riguarda l'idoneità dei parametri fisico-chimici dell'ambiente ai fini di un corretto accrescimento della specie ; in modo particolare salinità e temperatura giocano un ruolo determinante. Malgrado *Penaeus japonicus* sia spiccatamente eurialino ed in grado di sopravvivere ad un campo di variabilità salina che oscilla da 5 ‰ a 50 ‰, si accresce bene a valori che rientrano tra 15 ‰ e

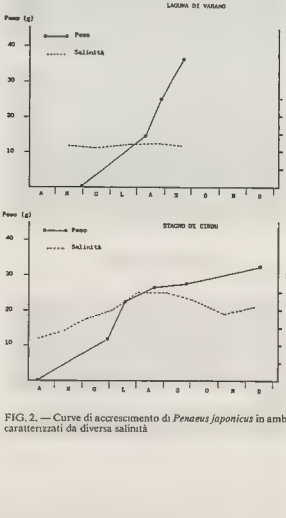


FIG. 2. — Curve di accrescimento di *Penaeus japonicus* in ambienti caratterizzati da diversa salinità

42 %. La fig. 2 riporta l'accrescimento in peso di due popolazioni di *P. japonicus* in condizioni diverse di salinità, relative alla Laguna di Varano (variabil.tà salina : 22,0 0-24,5 %) ed allo Stagno di Cirdu (salinità . 40,0-52,0 %). Essa evidenzia che nell'ambito dei valori riscontrati nella prima laguna l'accrescimento è rapido (circa 36 g in 105 giorni) , relativamente alla seconda laguna, caratterizzata da più elevata salinità, sono occorsi circa 200 giorni per raggiungere il peso medio di

TABLEAU 1

Tipologia degli stagni costieri italiani nei quali sono stati effettuati interventi sperimentali di ripopulamento con ***Penaeus japonicus***
N.D. Probabile presenza ma i dati non sono disponibili

Località	Superf. (ha)	Composizione popolazionale naturale									Produz. Stato trofico (kg/ha)		Salinità (‰)	Profondità media (cm)
		Mugilidi	*Anguilla anguilla*	*Atherina boyeri*	*Dicentrarchus Labrax*	*Sparus aurata*	*Gobidi*	*Soleidi*	*Carcinus mediterraneus*	*Altri*				
Laguna di Lesina	5.000	29,4	22,8	43,4	0,5	2,7	0	0	N D.	1,2	39,2	Eutrofo	22,0 - 33,0	75
Laguna di Varano	6.000	44,8	19,1	27,1		0,3	4,5	0	N.D.	4,2	22,7	Eutrofo	22,0 - 24,5	200
Lago di Acquatina	45	44,9	32,6	0		22,4	0	0	N D.	0 1	31,0	Oligotrofo	14,5 - 35,0	120
Lago di Monaci	95	21,5	62,1	12,5	3,4	0	0	0,5	N D.	0	284,0	Eutrofo	17,3 - 38,5	100
Lago di Burano	140	45,0	48,5	3,0	0,1	0,1	0	0	N.D.	3,3	65,0	Eutrofo	10,0 - 26,0	80
Laguna di Orbetello	2.700	36,8	48,8	2,0	9,9	0.6	0	1,0	N D.	0.9	170,0	Eutrofo	27,7 - 47,0	70
Stagno di Cirdu	24	34,7	4,8	0	0	2,8	14,9	9,8	29,1	3,9	39,1	Oligotrofo	40,0 - 52,0	60

TABLEAU 2

Dati relativi agli interventi di semina di ***Penaeus japonicus*** *in lagune salmastre della costa italiana (1979-1986)*
N.D. Non determinati

Località	Periodo semina	N° esempl. seminati	Stadio sviluppo	Taglia iniziale		Periodo raccolta	N° esempl. pescati	Taglia finale		Recupero (%)	Quantità totale pescata (kg)
				Peso (g)	Lt (cm)			Peso (g)	Lt (cm)		
LAGUNA DI LESINA	marzo	9.000	P30	N D.	N.D.	settembre '79	< 100	35,0	16,5	< 1	< 10
	marzo aprile '81	37.000	P13 P22	0,0083 0,0460	0,83 1,75	settembre '81	8.750	38,7	17,0	23,6	215
	aprile '82 luglio	389.400	P18 P31	0,0256 0,0860	2,14 1,31	agosto '82 settembre	426.821	36,7	18,7	32,5	2.992
	maggio '83 giugno	46.820	P23	0,0599 0,0634	1,81 2,07	agosto '83 settembre	11.705	30,0	15,5	25,0	328
	marzo '84 giugno	258.377	P17 P27	0,0184 0,0432	1,32 1,79	agosto '84 settembre	84.594	35,0	16,5	25,0	1.937
	luglio '85	294.035	P22	0,0130	1,20	agosto '85 settembre	60.000	23,6	14,4	20,4	1.200
LAGUNA DI VARANO	giugno '84 luglio	165.336	P27 P31	0,0310 0,0690	1,68 2,08	agosto '84 settembre	76.095	29,4	15,5	46,0	1.900
	maggio '85 giugno	288.678	P23 P24	0,0180 0,0210	1,36 1,35	agosto '85 settembre	76.656	36,0	16,2	26,7	2.300
LAGO DI ACQUATINA	maggio '85	33.780	P22	0,0185	1,48	agosto '85 settembre	3.500	43,4	16,8	10,4	122,5
	aprile '86	22.368	P29	0,0164	1,38						
LAGO MONACI	giugno '83	41.000	P22	0,0308	1,55	agosto . settembre '83	1.200	35,0	16,0	< 3	35
LAGO DI BURANO	aprile '83	15.900	P22	0,0169 0,0621	1,17 1,88	ottobre '83	< 500	N.D.	N.D.	< 0,5	< 10
LAGUNA DI ORBETELLO	aprile '83	45.400	P22	0,0169	1,17	ottobre '83	< 200	35,0	16,0	1,5	< 20
STAGNO DI CIRDU	aprile '85 giugno	92.499	P24 P31	0,0300 0,0460	1,53 1,82	ottobre '85	5.868	26,7	15,3	4,7	121
	aprile '86	50.282	P26	0,0238	1,48						

30 g. In un'esperienza di monocoltura estensiva con salinità del 62,0 ‰ la taglia massima raggiunta è risultata di 4,1 g, dopo 90 giorni (LUMARE *et al.*, 1986).

La temperatura primaverile-estiva è, di norma, molto favorevole all'incremento ponderale del Peneide ; i maggiori tassi di crescita, tuttavia, si registrano in corrispondenza dei periodi più caldi (+ 25, + 30°C). Nello Stagno di Cirdu, l'area di sperimentazione più meridionale, l'epoca di accrescimento si estende da aprile ad oltre novembre ; sulle coste dell'Adriatico centrale da maggio a settembre (LUMARE, 1984) e, nell'Adriatico settentrionale dall'inizio di giugno alla fine di agosto (LEMARE *et al.*., 1985). Circa le basse temperature vari autori (TOURNIER, 1972 ; JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY, 1975) hanno evidenziato la capacità di resistenza di *P. japonicus* ai bassi valori termici, fino a + 3, + 2°C.

Relativamente agli altri parametri chimici principali è condizione importante che essi siano nella norma pur riconoscendo al Peneide caratteristiche di estrema rusticità che gli consentono di sopravvivere laddove le più comuni specie lagunari in genere soccombono.

Uno degli aspetti più importanti, ai fini del ripopolamento con il Peneide, è quello relativo alla composizione, in termini qualitativi e quantitativi, della popolazione ittica naturale. L'entità di questa rappresenta un elemento determinante in quanto giustifica o meno l'intervento di ripopolamento. Una bassa produzione naturale quale quelle rilevabile nelle lagune di Lesina e di Varano (Tab. 1), può consentire recuperi del Peneide tali da rendere economicamente molto vantaggiosa l'azione stessa. La tab. 2 riporta, per la prima laguna, dei recuperi molto interessanti variabili dal 20,4 % al 32,5 %, relativi al quinquennio 1981-85. I dati riferiti al 1979 sono invece occasionali (LUMARE e PALMEGIANO, 1980), ma comunque importanti in quanto hanno fornito la traccia per gli interventi degli anni successivi. Ancora più interessante risulta la situazione relativa alla laguna di Varano, caratterizzata da una bassa resa del prodotto naturale (22,7 kg/ha/anno) cui hanno fatto riscontro elevati valori di recupero del Peneide (46,0 e 26,7 % rispettivamente negli anni 1984 e 1985). Per queste due lagune c'è da rilevare anche una composizione qualitativa della popolazione ittica costituita in bassa percentuale da speci predatrici (*Anguilla anguilla, Dicentrarchus labrax, Sparus aurata,* gobidi), mentre percentualmente più rappresentativa è la popolazione di mugilidi (principalmente *Liza ramada, L' aurata, L. salens* e *Mugil cephalus*), predatori solo occasionali, e dei latterini (*Atherina boyeri*).

Diverse risultano le condizioni riscontrate nella laguna di Orbetello e nel Lago Monaci caratterizzati da elevata produzione naturale, rispettivamente circa 170 kg/ha/anno (Tab. 1 ; GOGNETTI *et al.*, 1979 , REGIONE TOSCANA, 1984) e di 284 kg/ha/anno (ARDIZZONE, 1984) cui ha corrisposto un recupero pressoché irrilevante del Peneide (Tab. 2). Per queste due lagune è da considerare anche una cospicua popolazione di anguille, vicina al 50 % nel primo caso ed addirittura del 62,1 % nel secondo.

Differente per alcuni aspetti è poi la condizione offerta dal Lago di Acquatina e dallo Stagno di Cirdu che, pur essendo caratterizzati da una bassa produzione naturale, rispettivamente 31 kg/ha/anno (ROSSI e CORBARI, 1982) e 39,1 kg/ha/anno (LUMARE *et al.*, 1986), hanno fatto riscontrare bassi valori di recupero del Peneide. Ciò è ricollegabile in parte alla specifica composizione qualitativa del popolamento naturale. Questo è caratterizzato, infatti, da un'alta percentuale di specie predatrici ; nel primo bacino da *Dicentrarchus labrax, Sparus aurata, Anguilla anguilla* ; nel secondo percentualmente importanti sono i gobidi (14,9 %) e *Carcinus mediterraneus* (29,1 % ; CALVAS, 1985). Altro elemento comune a questi due ambienti, e che gioca certamente a sfavore della produzione naturale, è lo stato oligotrofo delle acque. Di norma una elevata capacità biogenica si esprime nella ricchezza naturale dei nutrienti, nell'abbondanza del fitoplancton, dello zooplancton e, infine, in quella del macrobenthos. Tale ultime anello, che viene esaltato dalla esuberanza dei precedenti, rappresenta la base dell' alimentazione dei Peneidi per cui tanto più appropriato è quest'ultimo sotto il profilo qualitatito e quantitativo, e tanto più elevata sarà la produzione finale. Tale correlazione, finalizzata alla biomassa a gamberoni, è stata verificata anche attraverso la fertilizzazione di ambienti lagunari circoscritti cui ha fatto seguito lo studio dei vari livelli della catena trofica, fino all'esame del contenuto gastrico dei Peneidi (LUMARE *et al.*, 1985 ; LUMARE *et al.*, 1985). Con tali interventi le rese dei gamberoni con taglia di mercato (17-39 g) sono variate da 150 a 327,5 kg/ha in 4-5 mesi (LUMARE *et al.*, 1986). La tab. 3 riporta la frequenza di prede nel contenuto stomacale di *P. japonicus* in due ambienti della Laguna Veneta, caratterizzati da situazioni diverse sia per composizione dei macrobenthos che per contenuto di sostanza organica del fondo. Nel complesso si evidenzia una notevole diversità delle diete ; nel primo caso vi è una netta incidenza delle larve di Chironomidi (62,7 %) e dei Copepodi (18,8 %), nel secondo l'alimentazione è basata principalmente sul mollusco *Hydrobia* sp. (41,8 %) e sugli Amphipodi e Corophidi (40,6 %). La correlazione circa l'entità di macrobenthos da una parte e l'accrescimento ed il rendimento in Peneidi dall'altra è evidenziata dalla Fig. 3 .

TABLEAU 3

Frequenza percentuale di prede nel contenuto stomacale di due lotti di Penaeus japonicus in due «valli da pesca» della Laguna di Venezia caratterizzate da una diversa situazione sia della composizione del fondo che del contenuto di sostanza organica

Specie	Valle Sparesera		Valle Fosse	
FORAMINIFERI	9,88		0,30	
ANELLIDI	6,36		4,80	
Spionidae		6,30		4,80
Nereidae		0,06		4,80
MOLLUSCHI	0,60		45,1	
Hydrobia sp.		0,40		41,8
Cerastoderma glaucum		0,20		0,80
Abra sp.				1,10
Non identificati				1,40
CROSTACEI	20,4		47,2	
Ostracoda		0,40		0,20
Copepoda		18,8		
Mysidacea		0,30		2,90
AMPHIPODA				
Corophidae		0,30		40,6
Gammaridae				2,40
Isopoda				
Idoteidae				0,50
Decapoda				
Palaemonidae		0,20		0,20
Non identificati		0,40		0,40
INSETI	62,7		2,20	
Chironomidae		62,7		2,20
PESCI	0,06		0,40	
Gobidae		0,06		0,40

Relativamente agli interventi di ripopolamento le lagune di Lesina e Varano sono caratterizzate da una elevata eutrofia e da bassa produzione ittica naturale, quest'ultima determinata sia dall'eccessivo sforzo di pesca che da scarse mon-

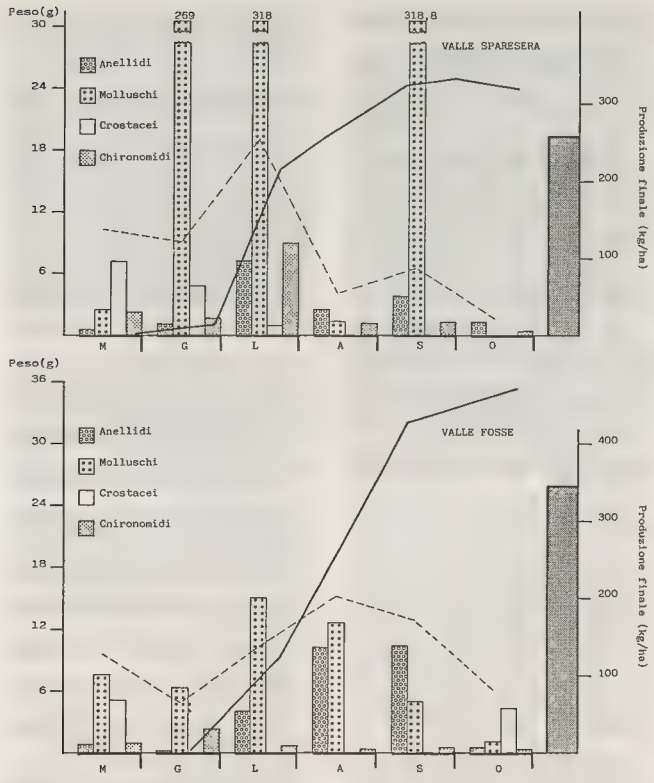


FIG 3. — Correlazione tra qualità e quantità del macrobenthos ed accrescimento e rendimento di *Penaeus japonicus* in due diversi ambienti vallivi del Nord Adriatico Gli istogrammi esprimono la biomassa (g/m²) del macrobenthos ; la linea tratteggiata rappresenta solo la frazione utile all'alimentazione del Penede La linea continua mostra l'incremento ponderale del Peneidi, mentre la colonna sull'estrema destra si riferisce al rendimento (kg/ha) finale a gamberi

tate di novellame. Pertanto gli interventi di semina con post-larve del Peneide hanno fornito risultati altamente positivi.

Anche le lagune di Monaci (ARDIZZONE, 1984 ; ARDIZZONE *et al.*, 1985) e di Orbetello rappresentano ambienti altamente eutrofizzati cui corrisponde una elevata produzione naturale dovuta sia alle abbondanti montate naturali di novellame, sia alle semine di avannotti effetuate dall'uomo e sia, infine, ai razionali sistemi di pesca svolti soprattutto ai canali di comunicazione con il mare. A tale elevata produzione ha fatto riscontro un irrisorio recupero di Peneidi

Le due lagune di Acquatina e Cirdu sono caratterizzate, invece, da oligotrofia, ma anche da una popolazione naturale che, sebbene bassa, ha una componente di predatori percentualmente elevata. Tali due fattori concomitanti hanno determinato un esito non completamente positivo circa gli interventi di ripopolamento. Relativamente al Lago di Burano, eutrofico, ma con produzione naturale non elevata (ARDIZZONE *et al.*, 1982 ; ARDIZZONE *et al.*, 1983), il basso rendimento in Peneidi può essere imputabile allo scarso controllo effettuato nella fase di pesca del prodotto. Infatti un ulteriore parametro, importante ai fini di un buon esito degli interventi di ripopolamento con il Peneide, è rappresentato dalla gesteione di pesca. Questa, infatti, dovrà sottostare a tre condizioni :

a) una prima è che la pesca tradizionale non avvenga esclusivamente con sistemi di richiamo ai canali di comunicazione con il mare, in relazione o meno alle azioni di marea, in quanto *P. japonicus* non risente dell'attrazione delle acque in entrata ed uscita ;

b) la seconda condizione è che la pesca venga effettuata in tutto il corpo lagunare e non solo in predeterminate postazioni, in quanto il gambero tende a colonizzare tutto l'areale utile (in senso trofico e pedologico) ;

c) la terza, infine, è che la pesca venga effettuata entro il mese di settembre, ovvero quando la temperatura dell'acqua non sia inferiore al 18°C allo scopo di raccogliere la maggior parte dei gamberoni.

ASPETTI ECONOMICI E CONCLUSIONI

L'intervento di ripopolamento a Peneidi è caratterizzata da un basso contenuto tecnologico ed economicamente è influenzato dalle percentuali di cattura e dal prezzo del novellame. Relativamente a quest'ultimo aspetto il costo di produzione è determinato anche dal regime termico naturale (nord, centro, sud) ne quale si effettua la produzione del novellame e che oscillerà, per ciascuna post-larva P22, dalle 25 alle 35 Lit. Seminando le post-larve a costo di produzione in are meridionali l'operazione sarà economicamente vantaggiosa soltanto per recuperi superiori al 5 %, escludendo dal computo il costo dello sforzo di pesca. In tal caso 1 kg di gamberi di taglia commerciale (peso medio 30 g) verrà a costare poco sotto le 20.000 Lit. Con la stessa percentuale di recupero, ma in aree settentrionali con bilancio termico meno favorevole, si avrà un costo del prodotto finale oscillante intorno alle 29.000 Lit/kg, il che risulta antieconomico.

Soddisfacente può essere considerato un recupero del 10 % in cui il costo di produzione del gambero a taglia di mercato oscillerà dalle 8.500 alle 15.000 Lit/kg ; nel secondo caso qualora il novellame sia stato acquistato al prezzo di Lit. 45 per P22. Un rapporto costi benefici molto favorevole risulterà con una percentuale di recupero del 20 % per il quale l'onere produttivo del gamberone oscillerà dalle 4.500 alle 7.500 Lit/kg. Relativamente ai risultati conseguiti nella Laguna di Varano nel 1984, epoca in cui è stato catturato il 46 % della popolazione seminata, il costo dei gamberi è oscillato da 2.000 a 3.500 Lit/kg. Nel caso specifico delle esperienze svolte nel corso del 1985, il rapporto costi-benefici è risultato di circa 1 a 9 per le lagune di Lesina e Varano ; per il Lago di Acquatina di 1 a 3 per lo Stagno di Cirdu di 1 a 1,8 (LUMARE *et al.*, 1986)

Le azioni di ripopolamento a Peneidi, già svolte da anni su scala produttiva in mare soprattutto in Giappone (KURATA *et al.*,1972 ; KURATA, 1981 ; NOZU *et al*, 1975 ; HASEGAWA, 1973), dove hanno riscosso ampio successo (PILLAY, 1979), nel Kuwait (FARMER, 1981) e, a livello sperimentale, negli USA (KITTAKA, 1981), hanno evidenziato notevoli potenzialità anche nelle lagune salmastre italiane. Risultati altamente positivi potranno essere assicurati a condizione, tuttavia, che tale tipo di intervento venga gestito razionalmente, ovvero tenendo conto dei parametri ambientali e biologici del contesto in cui si opera. In tale ottica i risultati potranno attivare importanti ricadute creando occupazione, interesse per la piccola pesca da parte dei giovani che evidenziano una sempre più preoccupante disaffezione alle attività lagunari, a causa dei bassi redditi perseguibili ; ciò potrà determinare, infine, anche un recupero di valori culturali ed ambientali se si tiene conto dell'importante ruolo delle tradizionali attività peschereccе in stagni e lagune necessità di dare a questi un contenuto sociale ed economico.

BIBLIOGRAFIA

ARDIZZONE (G.D.), 1984. — Biological characteristics, exploitation and management of fishery resources in coastal lakes of Central Italy. *Studies Reviews*, 61 (2), 462-476.

ARDIZZONE (G.D.) & CORSI (F.), 1985 — Eel population structure dynamics and fishing yield in a Mediterranean coastal lagoon. *Oebalia*, XI-2 N.S., 547-560

ARDIZZONE (G.D.), GIARDINI (M.) & TRIPALDI (G.), 1983. — Nutrient pathways in the Burano Lagoon. *Rapp. Comm. Int Mer. Médit.*, 28, 6, 193-194

ARDIZZONE (G.D.), PELUSI (P.) & TRIPALDI (G.), 1982. — Accrescimento e aspetti della produzione delle specie ittiche del Lago Salmastro di Burano. *Boll. Mus. Ist. Biol. Univ Genova*, 50 suppl., 101-108.

BARDACH (J.E.), RYTHER (J.H.) & McLARNEY (W.O.), 1972. — *Aquaculture : the farming and husbandry of freshwater and marine organisms.* New York, Wiley-Interscience, 1-868

CALVAS (J.), 1985. — Bilan des premiers essais d'élevage de la crevette *P. japonicus* dans le marais de la côte atlantique. *Aqua Revue*, (2), 8-13

GOGNETTI *et al.*, 1979. — *Risanamento e protezione dell'ambiente idrobiologico della Laguna di Orbetello* — Orbetello. Ed. Regione Toscana Comune di Orbetello, 1-144.

DOWIDA (N.M.) & RAMADAN (Sh. E.), 1972. — Family Penaeidae from the Mediterranean waters of Egypt. *Thallassia Jugoslavica*, 8 (1), 121-126.

FARMER (A.S.D.), 1981. — Prospects for Penaeid shrimp culture in arid lands. *In : Advances in food production system for arid and semiarid lands.* New York, Academic Press, 859-879.

FILIC, 1980. — Communicazione personale.

GELDIAY (R.) & KOCATAS (A.), 1968. — The species of Penaeidae family from the Mediterranean Coast of Turkey. *Scientific Reports Faculty Science, Ege University*, 58, 2-15.

HASEGAWA (A.), 1973. — Releasing of seedlings and its effect on the fishing yield in the case of Kuruma prawn farming fishery. *In : Report of fisheries resources investigacions by the Scientists of the Fishery Agency*. Tokyo, Fishery Agency of the Japanese Government

HOLTHUIS (L.B.), 1980 — FAO Species catalogues. Vol. 1. Shrimp and prawns of the World. An annoted catalogue of species of interest to fisheries. *FAO Fish. Synop.*, 125 (1), 1-261.

HOLTHUIS (L.B.) & GOTTLIES (E.), 1958. — An annoted list of the Decapod Crustacea of the Mediterranean coast of Israel *Bull Res. Counc. Isr.*, Sect. B 7, 1-126.

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY — GOVERNMENT OF JAPAN, 1975. — *Culture of marine life. Textbook for Marine Fisheries Research Course*, 1-164.

KITTAKA (J.), 1981. — Large scale production of shrimp for releasing in Japan and in the United States and the results of the releasing programme at Panama City, Florida *Kuwait Bull Mar Sci.*, (2), 149-163

KURATA (H.), 1981. — Shrimp fry releasing techniques in Japan, with special reference to the artificial tideland. *Kuwait Bull. Mar. Sci.*, (2), 117-147

KURATA (H.) *et al.*, 1972. — Studies on the farming of Kurama shrimp. 2. Mortalities among the released fry 1. Releasing methods and mortality of fry. *In : Annual report of the Project Team fro the development of a fisheries farming ground adjacent to Bingo-Nada*, 2 (1971), 16-25.

LUMARE (F.), 1981. — Artificial reproduction of *Penaeus japonicus* Bate as a basis for the mass production of eggs and larvae. *J World Maricul. Soc.*, 12 (2), 335-344

LUMARE (F.), 1983. — Directrices seguidas en Italia parala cria de langostinos peneidos. Inf. Técn. Inst. Inv. Pesq., 109, 1-18.

LUMARE (F.), 1984. — Stocking trials of *Penaeus japonicus* Bate (Decapoda, Natantia) post-larvae in Lesina Lagoon (southeast coast of Italy). *In : Management of coastal Fisheries Stud. Rev GFCM*, (61) 2, 593-606

LUMARE (F.), 1985. — *Report on the possibilities of development of prawn culture in Egypt within the MEDRAP/FAO Project.* Reserved report, 1-9.

LUMARE (F.), 1986. — Marine shrimp culture in the world and present state and trends of kuruma prawn. *Inf. Técn. Inst. Inv Pesq.* 136 (in stampa).

LUMARE (F.), ANDREOLI (C.), BELMONTE (G.), CASOLINO (G.), COTTIGLIA (M.), DA ROS (L.), PISCITELLI (G.) & TANCIONI (L.), 1986. — Growing of *Penaeus japonicus* (Decapoda, Natantia) in management and environmental diversified conditions. *Riv. Ital. Piac. Ittiopatol.* (in stampa).

LUMARE (F.), ANDREOLI (C.), GUGLIELMO (L.), MASELLI (M.A.), PISCITELLI (G.), SCOVACRICCHI (T.) & TOLOMIO (C.), 1985. — Trophic community correlations in fertilized ponds for the commercial culture of the kuruma prawn *Penaeus japonicus* Bate in the North Adriatic Sea (North-East coast in Italy). *III Colloquium Crustacea Decapoda Mediterranea*, Barcelona, 25-29 March 1985, 1-26

LUMARE (F.) & CASOLINO (G.), 1986. — First record of *Penaeus japonicus* Bate 1888 (Decapoda Natantia) along italian coast. *Oebalia* (in stampa).

LUMARE (F.) & HIRAMATSU (K.), 1982. — Prove preliminari di semina di novellame di *Penaeus japonicus* Bate (Decapoda, Natantia) nella Laguna di Lesina (costa sud-est italiana). *Atti XIV Congresso Società Italiana Biologia Marina. Boll. mus. Ist. Biol Univ. Genova*, 50 suppl., 243-248.

LUMARE (F.) & PALMEGIANO (G.B.), 1980. — Acclimatazione di *Penaeus japonicus* Bate nella Laguna di Lesina (Italia sud-orientale). *Riv. It. Pisci. Ittiop.* XV (2), 53-58.

LUMARE (F.), SCOVACRICCHI (T.), PISCITELLI (G.), GRASSO (M.), 1985. — First commercial farming experiment of *Penaeus japonicus* Bate in an earthen pond in Venice Lagoon. *Oebalia* (2), 11, 693-703.

NOZU (J.) *et al.*, 1975. — Saeki farming ground. 3. Mortality of released shrimp fry and predation by gobies *In : Annual report on the project Team for the development of a fisheries farming ground adjacent to Bingo-Nada*, 5 (1975), 186-204.

PILLAY (T.V.R.), 1979. — The state of aquaculture, 1976. *In : Advances in aquaculture*, edited by T.V.R. PILLAY and W.A. DILL. Farnham Surrey, Fishing News Books Ltd., for FAO, 1-9

REGIONE TOSCANA, 1985. — *Attività di acquacoltura nella Laguna di Orbetello* Giunta Regionale Firenze, 1-96

RODRIGUEZ (A.), 1984. — Comunicazione personale.

ROSSI (R.) & CORBARI (R.), 1982. — Analisi biologica del pescato nel Lago di Acquatina (Adriatico sud-occidentale, Puglia) nel periodo 1976-79. *Mem. Biol. Mar. Ocean.*, XII, 111-129

SHIBER (J.G.), 1976. — Penaeid shrimp from the coast of Lebanon Cercetari Marine. *I.R C.M.*, 9, 127-139.

SHIGUENO (K.), 1975. — Shrimp culture in Japan. *Association International Technical Promotion Tokyo*, 1-153.

TOURNIER (H.), 1972. — Conditions d'acclimatation des crevettes *Penaeus kerathurus* et *Penaeus japonicus* dans les eaux du littoral languedocien. Science et pêche, *Bull. Inst Pêches marit.*, 213, 1-13.

RAPPORT SUR LE THÈME II

LES LAGUNES MÉDITERRANÉENNES

par G CARRADA, I. FERRARI, O. GUELORGET, F. LUMARE et J.P. PERTHUISOT

1. Les communications orales, les communications par affichage et les interventions en séance concordent généralement sur un certain nombre de points :

a) Il existe une organisation zonale des écosystèmes lagunaires. A cet égard et à titre de remarque, on doit distinguer différents types de compartiments écologiques (descripteurs) :

— Les descripteurs intégrateurs des variations temporelles du milieu, par exemple le benthos endogé ou fixé ou les sédiments

— Le descripteurs instantanés (paramètres hydrologiques et hydrochimiques, plancton, ichthyofaune).

En conséquence, il n'y a pas nécessairement coïncidence, à un instant donné, entre les zonations correspondant à ces deux types de descripteurs : celles qu'offrent les descripteurs instantanés doivent être considérées d'un point de vue statistique.

b) La zonation benthique est qualitativement semblable d'un bassin à l'autre ; elle est indépendante des gradients de salinité instantanés ou statistiques.

c) En fonction **schématiquement** de la distance à la mer, on passe de communautés riches en espèces à faible densité à des communautés pauvres en espèces à très forte densité.

d) Il existe parallèlement à cette zonation des gradients de biomasse qui se traduisent notamment, dans les zones hydrologiquement isolées de la mer, par une production phytoplanctonique et phytobenthique accrue. Dans ces zones, en fonction d'apports de nutrients d'origine continentale qui peuvent venir renforcer cet effet, on peut attendre des taux de production primaire considérables (eutrophie, dystrophie).

Remarques : En ce qui concerne les nutrients, soit N soit P semblent jouer un rôle limitant, P pour les bassins fortement influencés par la mer, N pour qui le sont moins

La Silice n'a pas été évoquée ; elle joue cependant un rôle considérable notamment pour les Diatomées.

La profondeur a une grande importance dans les relations sédiments-eaux notamment pour la recharge de ces dernières en nutrients

e) L'importance économique des écosystèmes lagunaires a été soulignée à maintes reprises ; elle concerne les milieux eux-mêmes mais aussi les zones marines adjacentes (transferts de nutrients et de matière organique plus ou moins organisée).

La zonation biologique des lagunes apparaît comme un bon outil pour le renforcement de leur mise en valeur économique.

f) Les lagunes sont aujourd'hui l'objet de convoitises diverses notamment de la part des aménageurs touristiques. Elles doivent être défendues contre ces agressions actuelles ou potentielles. A cet égard, la mise en valeur des potentiels productifs des lagunes est sans doute la meilleure forme de protection de leur environnement naturel.

2. Certaines conceptions ne font pas l'unanimité des participants :

— La notion de confinement (GUELORGET et PERTHUISOT, 1983),

— L'existence d'un domaine «paralique» autonome.

Ces notions sont nouvelles et il est bien normal qu'elles suscitent des résistances mais aussi des débats scientifiques (toujours courtois, notamment au cours de ce colloque) ; à maints égards elles méritent d'être explicitées. Les recherches futures feront la part du vrai et du faux.

Ces débats pourraient faire l'objet d'un prochain colloque ?

3. Ce colloque a fait apparaître un certain nombre de problèmes à résoudre qui tracent diverses voies de recherches à entreprendre ou à poursuivre :

a) Problèmes de systématique floristique, faunistique et taxonomique.

b) Dans la mesure où les facteurs hydrodynamiques apparaissent fondamentaux dans l'organisation et le fonctionnement des écosystèmes lagunaires, il est nécessaire de chercher à savoir **comment** ils agissent sur les communautés biologiques. Deux voies possibles s'ouvrent :

— La voie expérimentale,

- en laboratoire, pour essayer d'apprécier le rôle des facteurs microchimiques (vitamines, oligoéléments...).

- en modèle réduit, puisque la zonation des systèmes lagunaires est indépendante de leur taille et qu'il n'existe pas de problème de transferts d'échelle.

— La voie de la modélisation (peu onéreuse).

Ces deux voies de recherche ne sont évidemment pas exclusives des recherches *in situ* à tous les niveaux d'observation notamment en ce qui concerne la structuration et le fonctionnement des différents compartiments biologiques et géologiques.

c) A l'heure actuelle, les lagunes semblent constituer un terrain favorable pour des recherches sur beaucoup de thèmes qui sont centraux pour l'écologie théorique : structure des communautés, fonctionnement des communautés, concepts de stabilité (statique et dynamique) et de diversité (biologique et abiotique), etc...

Les réseaux trophiques lagunaires paraissent des clés pour la lecture et l'interprétation de la dynamique biologique.

d) La mise en valeur optimisée des ressources naturelles des lagunes sans préjudice pour leur environnement passe nécessairement par la connaissance des mécanismes de base du fonctionnement des écosystèmes lagunaires ; par exemple, les problèmes liés à l'aquaculture lagunaire pourront trouver ainsi une base scientifique de solution.

4. Ce colloque a montré l'intérêt des contacts entre scientifiques de toutes disciplines ayant des expériences différentes et on doit souhaiter la persistance de ces contacts entre les deux nations méditerranéennes qui ont une tradition de recherche lagunaire désormais centenaire

Les rapporteurs souhaitent que de prochains colloques (notamment dans le cade de ces rencontres internationales, visent des thèmes particuliers, scientifiques, méthodologiques et économiques, du fonctionnement des écosystèmes lagunaires et que ces rencontres prennent plus souvent le caractère de réunions de travail laissant un maximum de temps aux discussions informelles.

REMARQUES COMPLÉMENTAIRES

par I. FERRARI

J'interviens pour un bref commentaire au rapport conclusif sur la session «Les lagunes méditerranées», en premier lieu pour remercier le Professeur PERTHUISOT qui s'est occupé de la rédaction du document en faisant un synthèse efficace des positions — quelquefois différenciées — apparues lors de la discussion ; en deuxième lieu pour exprimer la satisfaction la plus vive des amis G. CARRADA et V.U. CECCHERELLI et de moi-même pour l'opportunité que nous avons eue à travers ce Colloque de nous confronter ouvertement avec les collègues français sur les problèmes actuels de la recherche sur les écosystèmes lagunaires.

Le rapport de synthèse présenté par le Professeur PERTHUISOT rappelle les concepts fondamentaux (le confinement, le domaine paralique autonome, etc.) d'une élaboration théorique qui, en Italie, a été suivie avec beaucoup d'intérêt, suscitant aussi un débat scientifique serré, en particulier à l'occasion de deux importants meetings nationaux qui se sont tenus en avril 1985 respectivement à Massa Lubrense (workshop sur les lagunes saumâtres italiennes) et à Parme (séminaire d'études sur l'écologie du Delta du Pô).

Le «modèle du domaine paralique» — d'après mon point de vue personnel — contient en soi certains risques, d'un côté un excès de généralisations, de l'autre la tendance à proposer des schémas rigides d'interprétation et de classification. Cela me semble en contradiction avec les prémisses conceptuelles de cette approche, qui a eu le mérite de rompre avec une tradition d'études ancrée à une optique souvent étroitement autoécologique ou mésologique, mettant l'accent sur de nouvelles idées dans l'étude des lagunes : le rôle central des fonctions biologiques, l'importance de la productivité autochtone, les communautés biotiques en tant qu'éléments et facteurs de l'organisation autonome des systèmes lagunaires. Sur la base de ces prémisses, le «modèle du domaine paralique» a généré des hypothèses stimulantes, a suscité de nouvelles recherches, a contribué à approfondir et à agrandir nos connaissances sur la structure et le fonctionnement des lagunes.

Je désire conclure par quelques mots des remerciemesnt aux organisateurs, à Mr. Le Professeur BELLAN et à Mme BELLAN-SANTINI en particulier. Le succès de ce Colloque et le fait qu'il soit devenu une occasion utile de confrontation et de dialogue est dû en grande partie, je crois, à leur attention et à leur sensibilité.

THÈME III

LA FRANGE DE CONTACT ENTRE LA TERRE ET LA MER

Bull. Ecol., t. 18, 2, 1987, p. 189-199

LES SYSTÈMES VÉGÉTAUX DES CONTACTS SÉDIMENTAIRES TERRE/MER (DUNES ET VASES SALÉES) DE L'EUROPE MÉDITERRANÉENNE

par Jean-Marie GEHU[1], Edoardo BIONDI[2], Manuel COSTA[3] et Jeannette GEHU-FRANCK[4]

MOTS-CLÉS : Dunes - Vases salées - Méditerranée - Typologie - Phytosociologie - Paysages végétaux - Synchorologie - Conservation du patrimoine biologique.

RÉSUMÉ

Les systèmes végétaux des dunes et milieux halophiles des côtes méditerranéennes sont strictement organisés, comme leurs homologues atlantiques, en mosaïque zonée de groupements végétaux, même s'ils apparaissent de plus en plus perturbés sous l'effet de la pression humaine croissante.

Par quelques exemples significatifs les auteurs soulignent l'intérêt des méthodes phytosociologiques modernes pour l'établissement d'une typologie plus rigoureuse des communautés littorales et d'une approche synécologique et synchorologique améliorée.

A l'aide de transects caténaux effectués dans quelques sites caractéristiques d'Espagne, d'Italie et de France, ils définissent les grands traits des assemblages paysagers en zone littorale.

Au-delà de la connaissance fondamentale des systèmes végétaux, les méthodes phytosociologiques et géo-symphytosociologiques utilisées permettent une bonne évaluation de la qualité phytocoenotique des sites, donc une orientation raisonnée des choix conservatoires.

Après le rappel des principales causes d'altération et de destruction des dunes et milieux halophiles méditerranéens, une carte provisoire des sites les plus importants à l'échelle européenne, en raison de leur complexité phytocoenotique et de leur relative intégrité structurale, est proposée comme base d'action conservatoire à mener d'urgence par les autorités nationales ou internationales, pour la sauvegarde d'un patrimoine biogénétique minimum sur les rivages méditerranéens.

KEY-WORDS : Sand-dunes - Salt marshes - Mediterranean - Typology - Phytosociology - Plant landscapes - Synchorology - Conservancy of the biological patrimony.

SUMMARY

The systems of vegetation of the sand-dunes and halophilous areas of the Mediterranean coasts are strictly organized, such as their Atlantical homologues, in patchwork dotted with plant-associations, even if they seem more and more disturbed under the influence of the increasing human pressure

Through revealing examples, the authors underline the interest of modern phytosociological methods for the laying down of a more rigorous typology of coastal communities and of an improvement of a synecological and synchorological approach.

With the help of catenal transects carried out in a few Spanish, Italian and French caracteristic sites, they define the main features of the assembling of landscapes in coastal zone.

Beyond the fundamental knowledge of the system of vegetation, the phytosociological and geo-symphytosociological methods used, allows a good evaluation of the phytocoenotic quality of the sites, therefore a reasoned orientation of the choices for conservancy.

After the recall of the main causes of alteration and destruction of the Mediterranean sand-dunes and halophilous sites, a provisory map of the most important sites on the European scale, due to their phytocoenotic complexity and their relative structural integrity, is proposed as a base for conservancy action to be carried out by the national and international authorities, to the safeguard of a minimum biogenetic patrimony on the Mediterranean shores

INTRODUCTION

Les données relatées dans ce travail sont à situer dans le cadre d'un programme international d'étude de la végétation littorale du pourtour méditerranéen. Le programme associe les Universités de l'Aquila, Italie (Prof. Dr. E. BIONDI), de Valencia, Espagne (Prof. Dr. M. COSTA), de Lille II (Prof. Dr. J. GEHU-FRANCK), de Paris V (Prof. Dr. J.-M. GEHU) ainsi que la Station Internationale de Phytosociologie de Bailleul et l'Institut de Botanique de l'Université de Camérino en Italie. Ce programme bénéficie du soutien du Conseil de l'Europe (Direction de l'Environnement), Strasbourg.

Le programme a pour but :

— d'établir une typologie floristique et synécologique affinée de la végétation littorale qui soit applicable à l'ensemble du Bassin méditerranéen et concordante avec celle des régions voisines (Atlantiques, notamment) ;

— de délimiter l'aire des unités de végétation (syntaxons) définies dans chacune des catégories du milieu côtier : dunes, vases salées, étangs et marais littoraux, falaises... de façon à

(1) Université de Paris V Correspondance Station internationale de phytosociologie, Haendries, 59270 BAILLEUL

(2) Universita di l'Aquila, Italie

(3) Universidad de Valencia, Espagne

(4) Université de Lille II

en mieux cerner l'originalité géographique ;

— de proposer des choix raisonnés de conservation du patrimoine biogénétique lié à ces phytocoenoses et à leurs paysages caractéristiques.

Même s'ils apparaissent de plus en plus perturbés sous l'influence de pressions humaines croissantes les systèmes végétaux des dunes et milieux halophiles des côtes méditerranéennes sont strictement organisés, comme leurs homologues atlantiques en mosaïques bien zonées, quoique complexes, de groupements végétaux.

A titre d'illustration, dans le cadre du colloque sur les systèmes biologiques des contacts sédimentaires terre/mer de la Méditerranée d'Europe, nous nous proposons de développer quatre aspects particuliers des recherches entreprises :

— Plusieurs exemples précis souligneront l'intérêt des méthodes phytosociologiques actuelles pour l'établissement d'une typologie rigoureuse des communautés littorales assorties d'une approche synécologique et synchorologique améliorée ;

— Diverses cartes de distributions de groupements littoraux expliciteront les principaux types d'aires synchorologiques en Méditerranée ainsi que leurs particularités ;

— Quelques transects catenaux effectués dans des sites remarquables d'Espagne, d'Italie et de France permettront de préciser les grands traits d'assemblages paysagers en zones littorales méditerranéennes et d'en dégager l'originalité ;

— Enfin, une carte provisoire de répartition des sites sédimentaires méditerranéens les plus importants phytocoenologiquement à l'échelle de l'Europe est proposée comme base de réflexion et d'action pour une sauvegarde minimale du patrimoine biogénétique littoral de la Méditerranée.

II — TYPOLOGIE PHYTOSOCIOLOGIQUE ACTUELLE DES COMMUNAUTÉS VÉGÉTALES DU LITTORAL MÉDITERRANÉEN

Le littoral continental de la Grèce nous en fournira quelques exemples (GEHU *et al.*, 1986). Sur le plan méthodologique, les communautés ont été analysées au terrain à l'aide

TABLEAU I

Salsolo-Cakiletum aegyptiacae Costa et Manzanet 1981
Euphorbion peplis R. Tx. 1950
Euphorbietalia peplis R. Tx. 1950
Cakiletea maritimae R. Tx. et Preis. 1950

Numéro de relevé :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	P
Surface (m²) :	10	10	10	10	10	2	10	10	10	10	10			10	6		
Recouvrement (%) :	1	10	2	5	10	20	10	5	5	20	10			30	75	75	
Chiffre spécifique :																	5
Nombre d'espèces :	6	6	5	5	6	6	4	3	3	3	3	6	5	6	10	4	
Esp. caract. d'ass. :																	
Cakile marit. ssp. *aegyptiaca*	11	11	11	11	+	+	+	11	+	+	12	+	+	22	33	11	V
Salsola kali ssp. *kali*	11	22	11	21	21	23	22	11	11	23	+	21	23	22	+	33	V
Polygonum maritimum		11											+				I
Esp. diff. de sub.-ass. :																	
Beta maritima				+	+												I
Matthiola tricuspidata				+	+												I
Xanthium strumarium						+	11	11	+	+	12	23	+	12	23	+	12	IV
Esp. diff. de var. :																	
Atriplex tatarica												+	+	+	+	33	II
Raphanus maritimus												+	+	+	11		II
Esp. des unités sup. :																	
Atriplex hastata		+	+2	11		+	+							+	+		III
Euphorbia peplis	+						12										I
Cakile marit. ssp. *euxina*														11			+
Compagnes :																	
Agropyrum junceum	+	+			+									+			II
Eryngium maritimum	11	+										+					I
Anthemis tomentosa														22			I
Accidentelles :	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	

Espèces accidentelles : n°1 : *Echinophora spinosa* (+) ; n°6 . *Euphorbia paralias* (+) ; n°15 : *Hypecoum procumbens* (+) ; n°16 : *Inula crithmoides* (+)

de relevés floristiques effectués selon un échantillonnage géographique stratifié. Les relevés sont réalisés dans des conditions précises d'homogénéité totale (c'est-à-dire floristique, structurale et écologique). Ils sont ensuite confrontés en tableaux phytosociologiques statistiques justifiant des subdivisions internes des syntaxons qu'ils définissent et de leur situation dans le synsystème hiérarchisé :

— le premier tableau, celui du *Salsolo-Cakiletum aegyptiacae*, correspond aux hauts de plages enrichies en matières organiques par les laisses de mer :

- la sous-association typique (Rel. 1 et 2, Tab. 1) se développe sur des sables relativement purs ;

- la sous-association à *Xanthium strumarium* (Rel. 5 à 16, Tab. 1) vit sur des sables de plages plus eutrophisées ou sur des dépôts organiques âgés, en phase finale d'humification ; cette sous-association possède sur les côtes de Macédoine et de Thrace une variante à *Atriplex tatarica* (Rel. 12 à 16, Tab. 1), terme de passage à l'association à *Atriplex tatarica* et à *Atriplex hastata* qui est présente dans le Nord-Est de la Grèce sur d'épais matelas de matières organiques amenés en haut d'estran par le déferlement des vagues ;

- la sous-association à *Matthiola tricuspidata* et *Beta maritima* (Rel. 3 et 4, Tab. 1) apparaît sur le littoral de la mer Egée et du Canal de Corynthe sur graviers alimentés en matières organiques ;

On voit donc que la méthode utilisée met bien en jeu une répétitivité statistique de la combinaison floristique qui est, ainsi que ses variations mineures, sous la dépendance de facteurs écologiques et géographiques précis.

— le deuxième tableau pris en exemple, celui du *Puccinellio festuciformis-Juncetum subulati*, appartient à un type de milieu littoral moins étudié, celui des subcuvettes d'eau saumâtre creusées dans les sansouires ou leurs bordures.

En Grèce, comme sur les autres côtes méditerranéennes d'Europe, l'association est floristiquement définie par la combinaison répétitive de *Puccinellia festuciformis* et de *Juncus subulatus*. Elle présente trois variations :

- la première (Rel. 1 à 3, Tab. 2) des bords de cuvettes ou des zones plus salées, différenciée par la présence des espèces de la sansouire à *Arthrocnemum fruticosum* ;

- la deuxième typique (Rel. 4 à 7, Tab. 2) des zones intermédiaires ;

- la troisième (Rel. 8 et 9, Tab. 2) des cuvettes plus profondes, à eau moins salée mais un peu plus durable l'été, de transition vers le *Scirpetum compacti*, que différencie le Scirpe maritime.

— le troisième tableau utilisé pour la démonstration, celui du *Puccinellio festuciformis-Arthrocnemetum perennis*, correspond à une association pionnière de Salicornes vivaces prostrées dont les ramifications s'enracinent dans la vase. En Grèce, comme ailleurs, elle colonise les zones les plus basses des sansouires au-delà des vases à Salicornes annuelles. Elle se développe principalement dans les sites restés ouverts aux mouvements de la mer, la sous-association typique (Rel. 1 à 8, Tab. 3) occupant les niveaux inférieurs de l'association et la sous-association à *Arthrocnemum fruticosum* (Rel. 13 à 21), Tab. 3) les niveaux supérieurs de l'*Arthrocnemetum perennis*. La sous-association à *Halocnemum strobilaceum* (Rel. 9 à 12, Tab. 3) peut exister dans les cuvettes internes où l'association se maintient sur des vases subissant saisonnièrement des variations plus considérables de salinité. L'aggravation de ces conditions fait apparaître l'*Halocnemetum strobilacei* à proprement parler.

Plus d'une centaine de groupements végétaux des contacts sédimentaires terre/mer sont actuellement décrits ou en cours de description comparable sur les côtes méditerranéennes d'Europe dans le cadre du programme sus évoqué. Plutôt que d'en multiplier les exemples ici, il nous paraît préférable d'attirer l'attention sur leur mode de distribution géographique.

TABLEAU 2

***Puccinellio festuciformis-Juncetum subulati* ass. nov.**
Arthrocnemetion fruticosi (Br. Bl. 1931) em. Rivas-Martínez 1980
Arthrocnemetion fruticosi (Br. Bl. 191) em. Rivas-Martínez *et al.* 1980
Arthrocnemetalia Br. Bl. 1931 corr. Bolos 1967
Arthrocnemetea Br. Bl. 1931 corr. Bolos 1967

Numéro de relevé :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	P
Surface (m^2)	10					10		50		
Recouvrement (%)	85					100		100		
Nombre d'espèces	4	4	4	2	2	2	2	2	2	2,6
Caract. et diff. ass. *Juncus subulatus*	54	55	43	55	44	11	54	55	55	V
Puccinellia festuciformis	12	22	43	12	23	54	22			IV
Diff. subass. *Halimione portulacoides*	22	22	+2							II
Arthrocnemum fruticosum	12	12	23							II
Diff. subass. *Scirpus maritimus* spp. *compactus*								11	+	II

TABLEAU 3

Puccinellio festuciformis-Arthrocnemetum perennis (Br.-Bl. 1931) Géhu 1976
Arthrocnemion fruticosi Br.-Bl. 1931 em. Rv.-Mart. *et al.* 1980
Arthrocnemetalia Br.-Bl. 1931
Arthrocnemetea Br.-Bl. et Tx. 1943

Numéro de relevé :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	P
Surface (m²) :	4		2					1		2				5				4	4	4	2	
Recouvrement (%) :	50		80		90			70	100	100				50				90	100	100	85	
Nombre d'espèces :	2	1	1	2	2	3	5	3	4	3	5	3	4	3	4	4	6	4	6	5	5	3,6
Caract et diff. d'ass. *Arthrocnemum perenne*	34	23	54	55	55	54	32	44	54	55	54	44	55	34	44	54	44	45	44	43	44	V
Puccinellia festuciformis				+	+2	+	12						12		22	12	12	12	+2	12	+2	III
Diff de sub -ass. *Halocnemum strobilaceum*								+2	12	22	12											I
Arthrocnemum fruticosum												22	+2	+2	12	+2	12	22	22	12	+2	III
Diff de variante *Triglochin bulbosum*																			22	12	12	I
Esp. des unités sup. *Halimione portulacoides*	+2				+	43	12	22	11	+				+2		+2	33	+2	+		+	IV
Compagnes : *Limonium vulgare serotinum*						+	+	+		+		+		+		+2				+2		III
Suaeda maritima										+2									+			+
Agrostis stolonifera							+										+					+

III — PARTICULARITÉS SYNCHOROLOGIQUES ET MODES DE DISTRIBUTION DES GROUPEMENTS VÉGÉTAUX LITTORAUX EN MÉDITERRANÉE

Chaque association végétale, définie comme on vient de le voir, possède une aire particulière, c'est-à-dire qu'elle est présente sur une étendue plus ou moins grande du littoral méditerranéen.

Dans l'ensemble, la plupart, sinon toutes les associations littorales sédimentaires sont particulières à la Méditerranée, possédant ou non un ou plusieurs géosynvicariants analogues sur les côtes atlantiques ou pontiques. Ces groupements géosynvicariants sont respectivement différenciés par des espèces différentielles géographiques méditerranéennes, atlantiques, pontiques... (GEHU et GEHU, 1985 ; GEHU, 1986).

La carte n°1 fournit un bon exemple de l'un des nombreux couples géosynvicariants atlantiques et méditerranéens avec les sansouïres à *Arthrocnemum fruticosum* : *Puccinellio maritimae-Arthrocnemetum fruticosi* cantabro-atlantique et *Puccinellio festuciformis-Arthrocnemetum fruticosi* nord méditerranéen.

En ce qui concerne l'extension méditerranéenne de l'aire occupée, on retrouve en Méditerranée un phénomène comparable à celui déjà observé sur les côtes atlantiques (GEHU et GEHU, 1985), à savoir qu'en règle générale, plus un groupement est pionnier ou en situation basse dans les ceintures de végétation (c'est-à-dire, vers la plage ou la mer, ou l'eau), plus son aire apparaît étendue et donc plus son originalité géographique et sa rareté biologique paraissent réduites.

CARTE N°1. — Couple géosynvicariant méditerranéo-atlantique.
● *Puccinellio maritimae-Arthrocnemetum fruticosi.*
▲ *Puccinellio festuciformis-Arthrocnemetum fruticosi*

Mais il y a quelques exceptions, tel le *Salicornietum venetae*. Inversement, c'est au coeur même des zonations, et pas forcément à leurs extrémités continentales, (c'est-à-dire par exemple en arrière dune) que se situe le plus souvent les groupements à aire la plus restreinte ou présentant le caractère synendémique le plus prononcé et offrant donc le maximum d'originalité géographique et de rareté biocoenotique.

Quand on sait que l'un des effets destructurants de la pression humaine sur la végétation littorale est justement de favoriser l'extension des communautés pionnières au détriment des groupements plus différenciés des termes internes de la série, on comprend tout l'intérêt d'intégrer ces connaissances dans toute action visant à la préservation du patrimoine biogénétique des côtes.

Quelques types majeurs de distribution méditerranéenne ses dégageront bien à travers les cartes suivantes de répartition phytocoenotique littorale :

Répartition périméditerranéenne

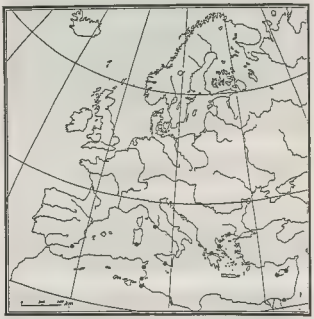
La carte n°2, concernant le *Salsolo-Cakiletum* déjà évoqué, caractéristique des végétations thérophytiques pionnières halo-nitro-psammophiles des hauts de plages est un bon exemple de ce type d'aire, même s'il y a de larges lacunes d'information pour la côte africaine.

CARTE N°2. — Type de distribution périméditerranéenne.

● *Salsolo-Cakiletum aegyptiacae*

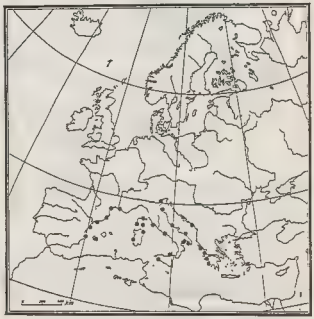
Répartition Sud Méditerranéenne

La carte n°3 de l'*Arthrocnemo glauci-Halocnemetum strobilacei* concernant les végétations pionnières vivaces des salines internes à *Halocnemum strobilaceum* qui subissent de très fortes variations saisonnières du régime des eaux (inondation hivernale et sécheresse estivale) et de la salinité (eau saumâtre l'hiver, efflorescence pulvérulente estivale) illustre bien cette catégorie d'aire même si le climat prépontique plus thermo-continental l'été en favorise l'extension vers le nord égéen.



CARTE N°3. — Type de distribution méditerranéenne méridionale.

● *Arthrocnemo-Halocnemetum strobilacei.*



CARTE N°4. — Type de distribution méditerranéenne nord-occidentale

● *Echinophoro-Ammophiletum arundinaceae*

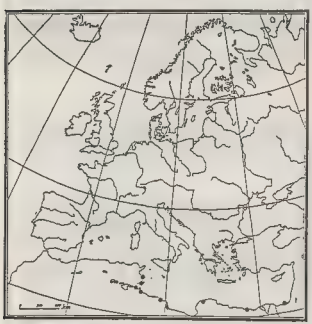
● *Elymetum farcti* à *Echinophora spinosa*

Répartition Nord occidentale méditerranéenne

La carte n°4 concernant les dunes vives de l'*Echinophoro-Ammophiletum arundinaceae* et les dunes embryonnaires de l'*Elymetum farcti* à *Echinophora spinosa* apporte un bon exemple de ce type d'aire partiellement corrélée à un biochmat côtier à dominante mésoméditerranéenne sèche à subhumide. Il est intéressant de constater à ce sujet et qu'en ce qui concerne les systèmes littoraux sédimentaires, les rivages de l'Adriatique se rattachent clairement au bassin occidental de la Méditerranée et non pas au bassin oriental comme l'indiquent souvent les cartes phytogéographiques classiques, sur la base de la distribution de plantes de l'intérieur des terres (1).

Répartition Sud orientale méditerranéenne

La carte n°5, concernant les dunes embryonnaires et vives des *Sileno succulentae-Elymetum farcti* et *Sileno succulentae-Ammophiletum arundinaceae* (GEHU et GEHU, 1986) démontre bien ce mode de répartition très caractéristique des rivages Nord-Est africains (de Sousse à Gaza) soumis à un bioclimat à dominante inframéditerranéenne aride.



CARTE N°5. — Type de distribution méditerranéenne sud-orientale

- *Sileno succulentae-Elymetum farcti*
- *Sileno succulentae-Ammophiletum arundinaceae*

Répartition Est méditerranéenne et égéenne

Ce type de distribution est celui d'Agropyraies ou d'Ammophilaies ne possédant ni les différencielles Nord-occidentales (telle que *Echinophora spinosa*) ni les différencielles Sud-orientales (comme *Silene succulenta*) mais c'est aussi celui de diverses associations littorales, très peu connues encore, souvent spécifiquement égéennes (endémiques) ou cantonnées à l'Est méditerranéen comme la curieuse association à *Cichorum spinosum* des garrigues littorales primaires fortement arrosées d'embruns

Répartition prépontique

Dans le Nord-Est égéen, à l'approche des Détroits, les systèmes méditerranéens sont progressivement pénétrés d'éléments des systèmes pontiques. Parmi ceux-ci, la graminée *Elymus giganteus* différencie l'*Elymo gigantei-Elymetum farcti* et caractérise l'*Amophilo-Elymetum gigantei* qui n'apparaissent qu'à partir de la Thrace orientale.

Répartitions endémiques

Ces répartitions sont géographiquement très diverses et apparaissent plus ou moins étroitement localisées avec cependant des zones privilégiées de synendémisme comme par exemple les îles Cyrno-Sardes ou le Golfe de Venise.

La carte n°6 figure quelques aires endémiques d'associations littorales de nature :

— Nord Adriatique pour le *Salicornietum venetae* des vases salées ou le *Junipero-Hippophaetum* des fourrés arrières-dunaires (GEHU *et al.*, 1984) ;

CARTE N°6. — Types de distributions endémiques

- Nord-adriatique :
  Salicornietum venetae
  Junipero-Hippophaetum fluviatilis
- ▲ Cyrno-sarde :
  Helichryso-Scrofularietum ramosissimae
  Crucianello-Armerietum pungentis
- ★ Sud-Ouest ibérique :
  Artemisio-Armerietum pungentis

(1) Il est possible cependant que l'aire de ces groupements déborde un peu sur les segments côtiers les plus humides du Maghreb, Algérie notamment et devienne de la sorte plus océanique que Nord-occidentale méditerranéenne (GEHU, 1987).

— Cyrno-Sarde pour l'*Helichryso-Scrofularietum ramosissimae* des cordons graveleux ou le *Crucianello-Armerietum pungentis* des arrières dunes (ZEVACO, 1969 ; GEHU *et al.*, 1985) ;

— Sud-Ouest Ibérique pour l'*Artemisio-Armerietum pungentis* arrière dunaire (RIVAS-MARTINEZ *et al.*, 1980).

Bien des exemples d'aires synendémiques plus réduites encore existent en Méditerranée, mais davantage sur falaises, il est vrai, qu'en milieu sédimentaire maritime. Les extraordinaires falaises de grès calcaire de Bonifacio au Pertusato en sont le meilleur témoignage avec des associations aussi étroitement endémiques que le *Crithmo-Limonietum obtusifolii* des niveaux aérohalins ou l'*Helichryso-Astragaletum massiliensis* de la garrigues littorale primaire (GEHU *et al.*, 1985 ; GEHU et BOURNIQUE, 1987).

IV — TRANSECTS CATENAUX DE SITES REMARQUABLES

La méthode des transects caténaux effectués à l'échelle des communautés végétales au sein des grandes unités géomorphologiques littorales permet, à travers l'expression des solidarités des syntaxons présents, la mise en évidence des grands traits des assemblages paysagers. La comparaison des listes de groupements végétaux quantifiés dans l'espace permet en outre d'objectiver les caractères de ces paysages maritimes (GEHU, 1977) et d'en souligner l'éventuelle originalité.

A titre d'exemples, quelques sites littoraux sédimentaires remarquables d'Espagne, d'Italie et de France seront évoqués à l'aide de schémas caténaux.

En Espagne, nous avons retenu tout d'abord le cas particulièrement réputé du système laguno-dunaire de Donana dans le Sud-Ouest de la Péninsule. La figure 1 résume une partie de la richesse et de la diversité des assemblages phytocoenotiques de ce grand site européen actuellement érigé en réserve naturelle nationale

Les figures 2 et 3 concernant la côte méditerranéenne à proprement parler de l'Espagne attirent l'attention sur les particularités des ensembles paysagers de groupements végétaux (géosymphytosociologie au sens de GEHU et RIVAS-MARTINEZ, 1981 et GEHU, 1987) des complexes dunaires proches d'Alméria et de Valencia.

En Italie, deux sites exemplaires ont été choisis parmi beaucoup d'autres

A San Teodoro, sur la côte Nord-orientale de la Sardaigne, comme le montre schématiquement la figure 4, les complexes géosymphyto sociologiques dunaires et lagunaires se trouvent associés à la faveur de flèches de sable bordant les lagunes et créant un ensemble paysager littoral sédimentaire remarquable et biologiquement très riche.

Dans le Salento, les dunes plaquées sur les petites falaises de grès de la côte occidentale présentent une intéressante séquence d'associations, notamment arrière dunaire (Fig. 5).

En France, un seul site a été retenu comme exemple ; celui de Lavu Santu en Corse du Sud-Est. Ce site relativement petit, présente néanmoins le double mérite d'exprimer parfaitement les deux types de séquences zonales de groupements végétaux, sur graviers et sur sables, du littoral oriental de l'île et d'être placé sous la protection du Conservatoire du littoral.

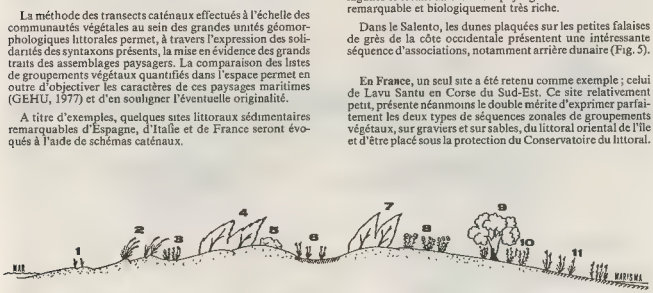


FIG. 1. — Transect de la végétation dans les dunes de Donana (Huelva)

1. *Euphorbio-Agropyretum junceiformis*
2. *Otantho-Ammophiletum arundinaceae*
3. *Artemisio-Armerietum pungentis*
4. *Rhamno-Juniperetum macrocarpae*
5. *Rubio-Coremetum albi*
6. *Galio-Juncetum maritimi*
7. *Rhamno-Juniperetum lyciae*
8. *Halimo-Stauracanthetum genistoidis*
9. *Oleo-Quercetum suberis*
10. *Erico-Ulicetum australis*
11. *Juncetea maritimae*

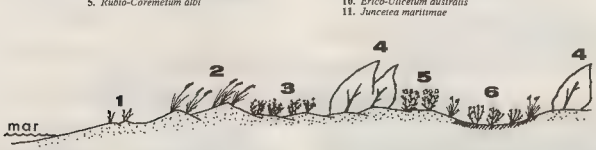


FIG. 2. — Transect de la végétation dans la Punta del Sabinar (Almeria)

1. *Agropyretum mediterraneum*
2. *Otantho-Ammophiletum arundinaceae*
3. *Crucianelletum maritimae*
4. *Rubio longifoliae-Juniperetum lyciae*
5. *Teucrio belionis-Helianthemetum scopulari*
6. *Juncetea maritimae y Arthrocnemeta*

FIG. 3. — Transect de la végétation dans les dunes del Saler (Valencia)

1. *Agropyretum mediterraneum*
2. *Medicago-Ammophiletum*
3. *Crucianelletum maritimae*
4. *Schoeno-Plantaginetum crassifoliae*
5. *Puccinellio-Arthrocnemetum*
6. *Phillyreo-Rhamnetum angustifoliae*

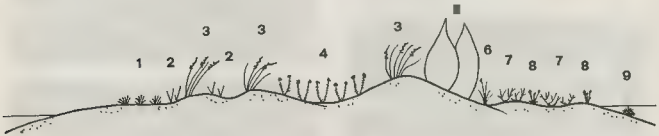


FIG. 4. — Transect de la végétation littorale de «San Teodoro», Sardegna (Italie)

1. *Salsolo-Cakiletum aegyptiacae*
2. *Sporobolo arenarii-Agropyretum juncei*
3. *Echinophoro spinosae-Ammophiletum arundinaceae*
4. *Crucianellion maritimae* appauvri
5. *Juniperion lyciae*
6. Gts du *Plantaginion crassifoliae*
7. *Puccinellio-Arthrocnemetum fruticosi*
8. *Suaedo-Salicornietum patulae*
9. *Chaetomorpho-Ruppietum*

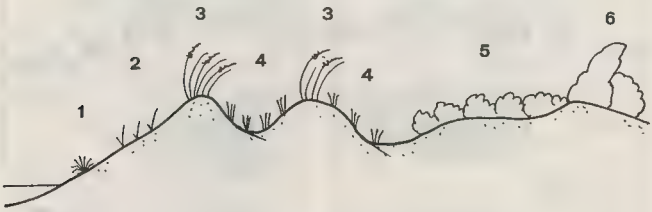


FIG. 5. — Transect de la végétation littorale des dunes du «Salento» Puglie (Italie)

1. *Salsolo-Cakiletum aegyptiacae*
2. *Sporobolo arenarii-Agropyretum juncei*
3. *Echinophoro-Ammophiletum arundinaceae*
4. Gts des *Malcolmietalia*
5. *Loto-Thymetum capitati*
6 *Juniperetum macrocarpae*

En aucun autre endroit du littoral Corse, ces deux séquences ne sont restées aussi complètes et intactes que là. L'importance du site est donc considérable, notamment en ce qui concerne la zone des chamaephytes d'arrières dunes, trop destructurée partout ailleurs pour être bien analysée et comprise sans références à ces deux anses témoins, l'une graveleuse, l'autre sableuse, de Lavu Santu.

Le tableau 4 résume cette double séquence. La figure 6 détaille trois transects caténaux effectués sur graviers dans l'anse Sud de Lavu Santu.

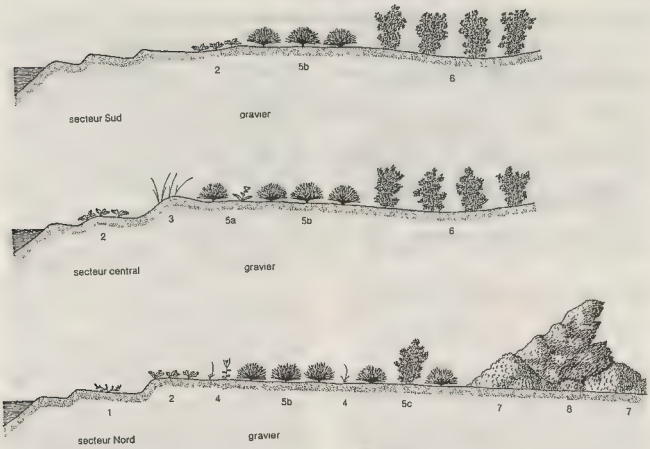


TABLEAU 4

LAVU SANTU

Anse Nord sable	Anse Sud gravier
plage	plage
Salsolo-Cakiletum aegyptiacae	*(Salsolo-Cakiletum aegyptiacae)*
Sporobolo-Agropyretum juncei sporobolotosum	*Sporobolo-Agropyretum* à *Eryngium maritimum*
Sporobolo-Agropyretum juncei othantetosum	(Groupement à *Glaucium flavum*)
Groupement du *Maresion nanae (Malcolmietalia)*	*Astrocarpo-Corynephoretum articulati*
(Echinophoro-Ammophiletum arundinaceae)	
Pycnantho rutifoliae-Cruciannelletum maritimae	*Helichryso-Scrofularietum ramosissimae*
Garrigue à Cistes et *Halimium*	Garrigue à *Halimium Halimifolium*
Maquis du *Juniperion lyciae*	Maquis du *Juniperion lyciae*

FIG. 6. — Lavu Santu, Corse, Anse sud

1. *Salsolo-Cakiletum aegyptiacae*
2. *Sporobolo-Agropyretum* en faciès à *Eryngium maritimum*
3. *Sporobolo-Agropyretum*
4. Groupement thérophytique à *Corynephorus*
5. Groupement à *Scrophularia ramosissima*
   a. variante à *Glaucium flavum*
   b. variante typique
   c. variante à *Halimium halimifolium*
6. Groupement à *Halimium halimifolium*
7. Manteau à *Pistacia lentiscus*
8. Ilots de *Juniperus phoenica* spp. *lycia*

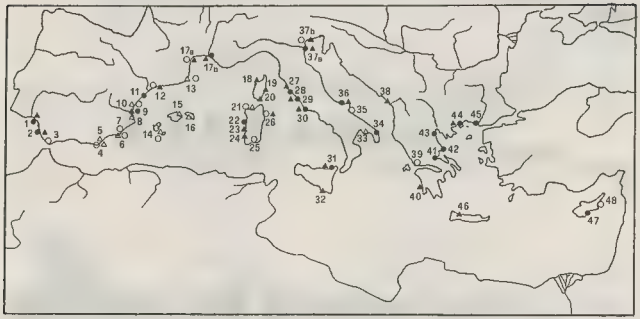
V — CAUSES D'ALTÉRATIONS ET CARTE PROVISOIRE DES SITES SÉDIMENTAIRES MÉDITERRANÉENS LES PLUS IMPORTANTS A L'ÉCHELLE DE L'EUROPE

Les causes d'altérations des systèmes sédimentaires méditerranéens sont multiples et ont pris, depuis quelques décennies, une dimension plus qu'inquiétante pour la survie de paysages littoraux, de qualités esthétiques et biologiques.

Les destructions les plus évidentes sont celles des dunes par surfréquentation touristique, exploitation de matériaux, lotissements et constructions d'immeubles. Il faut y ajouter au moins deux autres causes de dégradations graves, d'une part, le nivellement par engins, de plus en plus fréquent (Italie, Grèce par exemple), des petits systèmes dunaires pour élar-

CARTE N°7. — Carte provisoire des principaux sites sédimentaires méditerranéens d'Europe

Les triangles correspondent aux dunes et les cercles aux vases salées.
Les signes pleins indiquent des sites bien conservés et les signes vides des sites partiellement altérés.



ESPAGNE

1. Dunes et vases salées de «El Rompido-La Antilla» (Huelva)
2. Dunes et vases salées de «Donana» (Parc national) Huelva)
3. Vases salées de «Sancti Pedri» (Cadiz)
4. Dunes et vases salées de la «Punta del Sabinar» (Almeria)
5. Dunes de «El Alquian» (Almeria)
6. Dunes et vases salées de «Los escull del Mojon» (Alicante-Murcia)
7. Vases salées de «Torrevieja» (Alicante)
8. Dunes de «Oliva» (Valencia)
9. Dunes, vases salées et lacs de «El Saler-Albufera» (Parc national) - Valencia
10. Dunes et vases salées de «Canet de Berenguer-Sagunto» (Valencia)
11. Vases salées de «Ribera de Cabanes» (Castellon)
12. Dunes et vases salées du «Delta del Ebro» (Tarragona)
13. Dunes et vases salées de la «Bahia de Pals» (Gerona)
14. Dunes et vases salées de Ibiza et Formentera
15. Dunes de «Alcudia» (Mallorca)
16. Dunes de «San Bou» (Menorca)

FRANCE

17 a. Restes de cordons littoraux et étangs du Languedoc
17 b. Dunes et vases salées de la «Camargue»
18. Dunes de la «Plage d'Ostricori» (Corse)
19. Dunes de la «Plage de Lavu Santu» (Corse)
20. Dunes de la «Plage de Sperano» (Corse)

ITALIE

21. Dunes et étang de «Pilo» (Sardegna)
22. Vases salées de «Stagno di Cabras» (Sardegna)
23. Dunes de «Rio Piscinas» (Sardegna)
24. Dunes de «Montevecchio» (Sardegna)
25. Vases salées des «Stagni di Cagliari» (Sardegna)
26. Dunes et vases salées de «San Teodoro» (Sardegna)
27. Dunes de la «Maremma» (Parc régional) (Toscana)
28. Vases salées de la «Laguna di Orbetello» (Réserve naturelle) (Toscana)
29. Dunes et lac du «Lago di Burano» (Réserve naturelle) (Toscana)
30. Dunes, vases salées et lacs du «Circeo» (Parc national) (Lazio)
31. Dunes et vases salées de la «Laguna di Oliveri-Tindari» (Sicilia)
32. Dunes de «Marina di Ragusa» (Sicilia)
33. Dunes de «Campomarino» (Puglie)
34. Dunes et vases salées de «Cesine» (Réserve naturelle) (Puglie)
35. Vases salées du «Vasche del Candelaro» (Puglie)
36. Dunes et vases salées de «Lesina»
37 a. Dunes, vases salées et étangs du «Delta del Po» (Emilia-Romagna et Veneto)
37 b. Cordon dunaire et lagunes de Venise

YOUGOSLAVIE

38. Dunes de «Ulcini»

GRÈCE

39. Vases salées de «Etoliko» (Grèce centrale)
40. Dunes de «Romanos» (Péloponnèse)
41. Vases salées de «Lamia» (Grèce centrale)
42. Vases salées de «Skala» (Grèce centrale)
43. Vases salées de «Agathoupoli» (Macédoine)
44. Dunes et vases salées de Porto-Lagos (Thrace)
45. Vases salées de l'estuaire de l'Evros (Thrace)
46. Dunes à l'est de Georgioupoli et à l'ouest de Chania (Crète)

CHYPRE

47. Lagune de Limassol
48. Lagune de Larnaka

gir les plages balnéaires et d'autre part, les plantations inadéquates, mais de plus en plus étendues, de ligneux exotiques en arrière dune, sous le prétexte de stabilisation des sables.

En ce qui concerne les lagunes et les vases salées, la situation est tout aussi préoccupante, sinon plus. L'assèchement et la poldérisation (la «Bonification» des Italiens) a déjà entraîné une réduction dramatique (pour les zonations bioconotiques comme pour les écosystèmes marins dépendants des apports terrigènes) de la surface des systèmes halophiles méditerranéens. La transformation accélérée des dernières lagunes naturelles plus ou moins ouvertes aux mouvements marins en bassins nautiques, en salines, en zones de pisciculture, voire en remblais destinés aux cultures forcées sous tunnel... est en train de parachever dans bien des pays méditerranéens, la destruction totale d'un milieu côtier essentiel

Pourtant la prise de conscience de la gravité et de l'urgence du problème par un public élargi ainsi que par quelques responsables décisionnels, l'apparition de quelques actions ponctuelles de conservation à divers échelons locaux, nationaux, voire internationaux, nous ont incités à lister les principaux sites méditerranéens méritant une attention conservatoire

Dans l'état actuel de développement de notre programme de recherche, il nous est donc possible de dresser une carte sommaire et provisoire des sites sédimentaires du littoral méditerranéen apparemment les plus importants en Europe pour le maintien d'un échantillonnage significatif et diversifié des phytocoenoses et complexes paysagers caractéristiques, et par conséquent d'un maximum de diversité biogénétique.

Cette carte ne devra cependant pas être considérée comme complète et achevée. Elle devrait cependant pouvoir déjà orienter quelques choix conservatoires au niveau des instances internationales et nationales, sans perdre de vue que de nombreux sites, minorisés à cette échelle, n'en présentent pas moins un réel intérêt local ou régional.

Les auteurs de ce travail se tiennent à la disposition des personnalités et des organismes pour lesquels des compléments d'informations ou communications d'archives détaillées s'avéreraient utiles à toute action conservatoire, chaque jour plus urgente.

BIBLIOGRAPHIE

GEHU (J.-M), 1977. — Le concept de sigmassociation et son application à l'étude du paysage végétal des falaises atlantiques françaises. *Vegetatio* 34 (2), 112-125

GEHU (J.-M.), 1979. — La symphytosociologie : une approche nouvelle des paysages végétaux *Bull. Soc. Bot. Fr.* 126, 213-223.

GEHU (J.-M), 1986. — La végétation côtière. Faits de géosynvicariance atlantico-méditerranéenne. *Bull. Ecol.* 17 (3), 179-187.

GEHU (J.-M.), 1987. — Des complexes de groupements végétaux à la Phytosociologie paysagère contemporaine. *Giorn. Bot.* (sous presse)

GEHU (J -M.), 1987 — Qu'est-ce que l'*Agropyretum mediterraneum* Br.-Bl. (1931) 1933 ? *Lazaroa* (sous presse).

GEHU (J.-M.), BIONDI (E.), FRANCK (J.) & MARCHIORI (S), 1984 — Sur les Tormillares à *Thymus capitatus* des dunes du Salento. *Doc Phytosoc.* N.S. 8, 559-565.

GEHU (J -M), BIONDI (E), FRANCK (J) & ARNOLD (N.), 1986. — Données synsystématiques et synchorologiques sur la végétation du littoral sédimentaire de la Grèce continentale. *Doc. Phytosoc.* N.S. 10 (sous presse).

GEHU (J.-M.), BIONDI (E.), FRANCK (J.) & TAFFETANT (F.), 1985. — Données sur la végétation maritime du littoral oriental de la Corse. *Vème Jornadas de Fitosociologia*, Tenerife (sous presse).

GEHU (J.-M.) & BOURNIQUE (C.-P), 1987. — Peuplement végétal et synendémisme insulaires. Exemples méditerranéo-atlantiques. Colloque Soc. d'Ecologie. Paris 1986 (sous presse).

GEHU (J.-M), COSTA (M.), BIONDI (E.), PERIS (J.-B.) & ARNOLD (N.), 1984 — Données sur la végétation maritime des côtes méridionales de l'île de Chypre. *Doc. Phytosoc.* N.S. 8, 843-864.

GEHU (J.-M.), COSTA (M), SCOPPOLA (A), BIONDI (E.), MARCHIORI (S), PERIS (J.-B.), FRANCK (J.), CANIGLIA (G.) & VERI (L.), 1984. — Essai synsystématique et synchorologique sur les végétations littorales italiennes dans un but conservatoire I Dunes et vases salées. *Doc. Phytosoc.* N.S. 8, 393-474.

GEHU (J.-M) & GEHU (J.), 1985. — Données synchorologiques sur la végétation littorale européenne. *Vegetatio* 59 (1-3), 53-83.

GEHU (J.-M.) & GEHU (J.), 1986. — Données synsystématiques et synchorologiques sur la végétation du littoral tunisien de Bizerte à Gabes. *Doc. Physococ.* N.S. X (sous presse).

GEHU (J.-M) & RIVAS-MARTINEZ (S.), 1981. — Notions fondamentales de phytosociologie. *Berich der intern Symp. Verein. für Vegetationsk.* Rinteln 1981 - Syntaxonomie, 5-33. Vaduz.

GEHU (J.-M.), SCOPPOLA (A.), CANIFALIA (G.), MARCHIORI (S.) & FRANCK (J), 1984. — Les systèmes végétaux de la côte nord-Adriatique italienne, leur originalité à l'échelle européenne *Doc Phytosoc* N S. 8, 485-558.

RIVAS-MARTINEZ (S.), COSTA (M.), CASTROVIEJO (S.) & VALDES (E.), 1980. — Vegetacion de Donana. *Lazaroa* 2, 5-190.

ZEVACO (Cl.), 1969. — Étude phytosociologique des plages et des dunes des archipels des Lavezzi et des Cerbicales (Corse). *Ann. Fac. Sc. Marseille* 42, 111-130

Bull. Ecol., t. 18, 2, 1987, p. 201-208

LES PEUPLEMENTS VÉGÉTAUX ET LA GESTION DES CÔTES BASSES DU GOLFE DU LION

par Jean-Jacques CORRE

Laboratoire de systématique et écologie méditerranéennes, Institut de Botanique - Université de Montpellier II
163, rue A. Broussonet — 34000 MONTPELLIER

MOTS-CLÉS : Littoral terrestre - Dune - Golfe du Lion - Méditerranée - Dynamique végétation.

KEY-WORDS : *Terrestrial sea shore - Sand dune - Golfe du Lion -Méditerranée - Plant communities dynamic*

RÉSUMÉ

La structure de la végétation littorale terrestre du Golfe du Lion (Méditerranée) résulte principalement d'une triple action :

1 — L'existence d'un gradient géomorphologique et climatique se développant du NE vers le SW ;

2 — Une dynamique du substrat due de façon prépondérante soit à l'action de la mer, soit à celle du vent, ce qui conduit à distinguer deux ensembles écologiques : les hauts de plages et les bourrelets littoraux d'une part, les systèmes dunaires d'autre part ;

3 — Une hydrodynamique souterraine liée aux lentilles d'eau douce sous dunaires masquant partiellement la nappe aquifère saumâtre

L'aspect et l'évolution des paysages végétaux ne peut se compendre sans tenir compte de phases paroxysmiques dans l'action de la mer ou (et) du vent

SUMMARY

Plant communities and management along the Golfe du Lion low sea shore

The plant communities structure along the terrestrial sea shore of Golfe du Lion (Méditerranée) is firstly the result of a triple action :

1 — A climatic and geomorphologic gradient extending from NE to SW ;

2 — A sand substrat dynamic settled by waves action or by wind which leads to distinguish two ecological units : firstly, the upper parts of shore or shore sand ridges, secondly, dune systems ;

3 — Accumulation of fresh water under sand dune masking in part the brakish underground water table

The evolution of plant landscapes cannot be understood without taking in account paroxysmic phases due to sea or wind action

1 — INTRODUCTION

La zone littorale du Golfe du Lion a pendant longtemps été considérée comme marginale, car située en dehors des principaux courants d'activités économiques de la région. Des pratiques traditionnelles, surtout artisanales, s'y étaient développées ; pêche et conchyliculture, exploitation salinière, chasse, petite agriculture, manades, etc.

La présence de marais rendait le milieu particulièrement insalubre. L'espérance de vie à la naissance était, au milieu du 19e siècle, de 15,1 ans à Palavas, 26 ans à Vendres, pour une moyenne française de 35,7 ans, en raison d'une forte mortalité infantile (REGY, 1867). Dans ce contexte très défavorable, hormis quelques ports, les installations humaines se sont réalisées à distance respectueuse de ces secteurs peu hospitaliers.

Bien que le paludisme soit depuis longtemps éradiqué, les premiers développements du tourisme balnéaire, fortement limités par la nuisance des moustiques, restaient confinés au droit des agglomérations de l'intérieur. La faible présence de l'homme n'était pas cependant synonyme d'abandon de tout type d'interventions. Si les travaux d'assainissement par comblement partiel des étangs, préconisés au 19e siècle, n'ont pas vu le jour, par contre la défense contre la mer, nécessitée par les dégâts dus aux fortes tempêtes, qui, rompant le cordon de dunes, envahissaient les cultures et les pâturages, était de tradition constante. Le rapport de l'ingénieur REGY (1867) préconise à ce sujet certaines méthodes dont on peut penser qu'elles ont été appliquées au moins localement.

Les premiers travaux qui vont jouer un rôle important dans l'évolution actuelle du littoral datent du début de ce siècle avec la construction de routes parallèles à la côte, destinées à joindre les unes aux autres les agglomérations portuaires ou les villages de pêcheurs. Deux grands programmes d'aménagement ont, au cours des dernières décennies, amplifié l'action de l'homme. Le premier, de type agricole, a suivi la construction du canal d'irrigation apportant les eaux du Rhône jusqu'à Montpellier. Ces amenées d'eau douce provoquent, dans leur secteur d'influence, une extension des périmètres drainés et irrigués réduisant à partir de l'intérieur des terres la surface des zones humides en périphérie des lagunes et marais. Le second, de type touristique, intéresse surtout la bordure maritime ; les opérations de démoustication qui l'ont accompagné favorise l'occupation de ce milieu par l'homme, en éliminant ce qui était l'essentiel des nuisances. Aussi, à l'heure actuelle, on estime que plus de 48 % du linéaire côtier est aménagé. Malgré cela il subsiste de vastes étendues de dunes et marais qui, avec la faune et la

flore spécifiques qui leur sont associées, constituent un des attraits de la région. Il n'en demeure pas moins que la recrudescence des activités situées le long du littoral entraîne des changements d'équilibre du milieu et des paysages naturels.

Dans un tout autre registre, les récentes tempêtes, en particulier celle de novembre 1982, ont confirmé le rôle protecteur que joue le cordon dunaire et mis en évidence les risques encourus par l'abandon de son entretien.

Pour répondre de manière pertinente aux préoccupations des gestionnaires de ces milieux, il est nécessaire d'en comprendre le fonctionnement, au moins dans ses phases essentielles, et de repérer son évolution avant de pouvoir la contrôler. Un programme de recherches fondamentales, soutenu par le C.N.R.S. dans le cadre du PIREN, vient d'être lancé à cette fin. D'autres actions visant à des applications immédiates sont également en cours, impliquant l'État et la Région.

Au niveau des recherches fondamentales, trois composantes paraissent particulièrement déterminantes dans l'évolution du paysage et méritent une étude précise.

— Les pressions économiques, avec leurs conséquences sur le partage et la gestion de l'espace

— Les processus sédimentaires à court et moyen terme.

— La couverture végétale, non seulement en raison de ses aspects paysagers, mais aussi par l'aide qu'elle apporte au diagnostic des tendances évolutives, par son rôle stabilisateur du substrat et par les conditions qu'elle offre à la faune qui lui est inféodée

Notre exposé prendra en considération ce dernier aspect et plus particulièrement les éléments qui impliquent la structure floristique de la végétation en bordure des côtes basses.

2 — LE MILIEU PHYSIQUE

2.1. *LES UNITÉS GÉOGRAPHIQUES ET GÉOMORPHOLOGIQUES*

De la frontière espagnole, au Sud-Ouest, jusqu'à Fos-sur-Mer, au Nord-Est, le Golfe du Lion dessine un vaste arc de cercle d'environ 230 km s'étendant entre 50,8 et 52 gr. de latitude Nord et 0,8-2,8 gr. de longitude Est (méridien de Paris).

Par son étendue, la diversité de l'orientation des côtes, la variété des structures géologiques et géomorphologiques de l'arrière-pays et singulièrement des bassins versants qui assurent les apports sédimentaires, cette région présente une grande diversité de milieux.

La côte sableuse commence au Racou, à une vingtaine de km au Nord de la frontière espagnole. Du Racou à Agde, la ligne de rivage relativement régulière, résulte du colmatage partiel d'une côte qui, dans les époques historiques était beaucoup plus sinueuse, avec des golfes tels celui de Salses, de Narbonne (occupé actuellement par les étangs de Bages, de Vendres), bordés d'îles (Leucate, îles de Ste-Lucie, Sidrières, St-Martin, montagne de la Clape) ; plus au Nord l'étang de Thau était également, à son origine, un golfe occupant un synclinal dans le prolongement du pli de Montpellier. De Sète au Grau-du-Roi, l'édification du lido s'est faite parallèlement au rivage et a isolé un chapelet de lagunes peu profondes.

A partir de la Grande Motte le lido va se diviser, vers l'est, en plusieurs branches étalées en éventail, entre lesquelles s'insèrent des lagunes. Ce système se déploie dans l'ensemble de la Petite Camargue et se poursuit dans le delta du Rhône, où il est brusquement interrompu par un accident géologique (faille, flexure...?) orienté perpendiculairement au rivage, au droit des Saintes-Maries-de-la-Mer. Chacune des branches du lido semble correspondre à un élément d'une séquence de lignes de rivages dont la chronologie aurait débuté lors du maximum de la transgression flandrienne, ainsi que le laissent supposer quelques datations citées par BAZILLE (1974) ; elle se serait poursuivie jusqu'à notre époque par la formation de la pointe de l'Espiguette.

Au-delà des Saintes-Maries, vers l'Est, le paysage est constitué d'un réseau d'étangs, de levées de terre, de restes de cordons dunaires partiellement colmatés par des dépôts limono-argileux. Ce paysage typique de la Camargue résulte de l'action conjuguée des dépôts fluvio-palustres prépondérants au nord et des dépôts laguno-marins surtout importants dans les parties méridionales

2.2. *FACTEURS PHYSIQUES CONDITIONNANT LA FORMATION DU SYSTÈME DUNAIRE*

L'édification de la dune dépend bien évidemment des apports et des retraits de sable par la mer et de leur remaniement par le vent

Le long du rivage du Golfe du Lion, en l'absence de marée et de courants notables, le transport marin se fait essentiellement par la houle (DUBOUL-RAZAVET, 1974) qui va agir :

— tangentiellement à la côte, selon sa force et sa direction (l'angle d'efficacité maximum étant de 55° par rapport au rivage) ;

— perpendiculairement à la côte, lors du déferlement des vagues (jet de rive et courant de retour).

Le transport éolien va dépendre de l'allure de la rose des vents par rapport au trait de côte et de leur force. Si les vents dominants viennent de l'intérieur des terres, l'importance du retour des sables à la mer limite la hauteur des dunes et creuse le haut de plage si le sable est fin, ce qui les rend facilement mobilisable (LE DAIN, comm. verb.). L'atteinte des dunes par les tempêtes est alors favorisée. Elles sont sapées à leur base. Il s'en suit un équilibre d'érosion - édification qui maintient le cordon dunaire à une altitude peu élevée. Si, par suite d'agressions marines accrues ou d'un piétinement important du système dunaire, la ligne de faîte s'abaisse au-dessous d'un certain seuil, le processus d'érosion éolienne, puis marine s'accentue aboutissant peu à peu à un aplanissement complet du lido par disparition du cordon dunaire. Au contraire, la dominance de vents tangentiels à la côte étale le sable émergé et engraisse le haut de plage qui sera alors mieux protégé des tempêtes ; il se crée un contexte favorable à la formation d'un massif dunaire élevé. C'est le cas des dunes de l'Espiguette.

L'action du vent et de la houle dépend de la granulométrie du sable qui varie de 100-200μ en Camargue jusqu'à 500-1500μ vers le Racou (Tabl. 1).

Pour être compréhensible, l'interprétation des systèmes biologiques liés à la dune doit tenir compte des modalités d'action de ces paramètres physiques et de la distribution géographique de leur résultante (CLIQUE *et al.*, 1984 ; GRESLOU, 1984 ; RUEDA, 1985), ce qui conduit *a priori* au découpage du Golfe du Lion en 18 secteurs, parmi lesquels prédomine le recul du rivage (Tabl. 1).

TABLEAU I

Principales caractéristiques des subdivisions écologiques du littoral terrestre le long du Golfe du Lion

Secteurs écologiques	Subdivisions écologiques	Evolution du trait de côte	Granulométrie	CO_3Ca	Rose des houles (1)	Rose des vents (1)
Roussillon	1 Racou – Agly	avancée sur le siècle (4150 m)	500	0	(a) – N-NE	
	2 Agly – Leucate	très légère avancée sur le siècle (quelques mètres)	à 1500 F		(b) – SE-ESE	
Plaines du Narbonnais et du Biterrois	3 Leucate – Baie de Vendres	avancée s'amoindrissant du S au N	180 – 350 M		E et SE	(a) – NW
	4 Aude – Orb	avancée sur le siècle	230 à 450 F			(b) – SE
	5 Orb – Libron	recul maintenant				
	6 Libron – Hérault	recul avec avancées localisées				
Plaines littorales du Montpelliérais	7 Hérault – Cap d'Agde	recul localisé			(a) – N (b) – SSE – SE	
	8 Agde – Castellas	avancées et recul localisées	galets et sables 150 – 200 à		(a) – SW	(a) – NW
	9 Castellas – Sète	recul			(b) – SE à E	(b) – NE et SE
	10 Sète – Les Aresquiers	recul				
	11 Les Aresquiers – Palavas	recul ou stabilité avancée près des ouvrages				(a) – NW-N (b) SE
	12 Palavas – Grau du Roi	recul ou stabilité avancée près des ouvrages			(a) – SW (b) – SE à Sète SSE à Marseille	
Petite Camargue	13 Grau du Roi – Les Baronnets	avancée	150 – 200 M			(a) – NW (b) – SE
	14 Les Baronnets – Petit Rhône	recul localisé				
Camargue	15 Petit Rhône – étang du Vaccarès	recul				
	16 Étang du Vaccarès – Beauduc	avancée				
	17 Beauduc – Faraman	recul				
	18 Faraman – Grand Rhône	avancée				

(1) (a)-(b) : ordre de dominance

2.3. *LES CONDITIONS CLIMATIQUES*

Le climat est de type méditerranéen avec une pluviosité annuelle comprise entre 500 et 730 mm, 50 à 95 jours de pluies par an, des températures moyennes voisines de 14°C. La moyenne des minimums du mois le plus froid se situe entre + 0,9°C (Montpellier-Fréjorques) et + 4°C (Cap Béar), celle des maximums du mois le plus chaud se situe entre 27,8 et 30,3°C. Ces valeurs moyennes cachent de grandes irrégularités annuelles et une grande diversité stationnelle. Les suites d'années humides ou sèches induisent une évolution lente plus ou moins cyclique des communautés végétales herbacées ; les basses températures de certains hivers rappellent leurs limites biogéographiques aux espèces thermophiles, comme *Mesembryanthemum edule* largement introduite à titre décoratif.

Le secteur de Palavas présente les hivers les plus froids, m = 0,9°C. De part et d'autres les températures se radoucissent jusqu'à m = + 4°C vers le Roussillon et m = + 2°C vers la Camargue (moyenne de la période 1891-1930).

3 — LES PAYSAGES VÉGÉTAUX

3.1. *CARACTÈRES GÉNÉRAUX DE LA VÉGÉTATION*

La plus ou moins grande extension vers l'intérieur des formations sableuses littorales crée des gradients de milieu, le long desquels on peut observer une atténuation des influences maritimes. Ceci a conduit à décrire des séquences de végétation. Le schéma classique en a été établi en 1929 par KUHNHOLTZ-LORDAT, repris par BRAUN-BLANQUET *et al.*, complété, en ce qui concerne la Petite Camargue, par ZARZYCKI (1961), la Camargue par MOLINIER et TALLON (1965), le littoral audois et du Roussillon par BAUDIÈRE et SIMONNEAU (1968-1974), VOEKEL (1977), LOUMAGNE (1978) et ROUZAUD (1975).

Généralement, on y distingue deux séquences : la «xérosère» qui caractérise les sommets de dunes et sert à définir différents stades de colonisation et l'«hydrosère» qui traduit dans les creux interdunaires des gradients d'humidité et de salinité.

a) La xérosère

Milieux instables

Principaux groupements	Principales espèces
Agropyretum mediterraneum	
— peuplement à *Elymus farctus* richesse env. 10 sp./peuplt	*Elymus farctus* subsp. *farctus* *Sporobolus pungens* *Echinophora spinosa* *Medicago marina*
— peuplement à *Elymus farctus* et *Eryngium maritimum* richesse env. 11 sp/peuplt.	*Elymus farctus* subsp. *farctus* *Eryngium maritimum* *Sporobolus pungens* *Polygonum maritimum* *Crithmum maritimum*
Ammophiletum arundinaceae richesse env 11 sp/peuplt	*Ammophila arenaria* subsp. *arundinacea* *Anthemis maritima* *Medicago marina* *Echinophora spinosa* *Euphorbia paralias*

Milieux en cours de stabilisation

Crucianelletum maritimae richesse env. 16 sp/peuplt.	*Crucianella maritima* *Teucrium belion*

Anthemis maritima
Helichrysum stoechas
Artemisia campestris subsp *glutinosa*

Artemisio-Teucrietum maritimi

richesse env. 20 sp/peuplt. — *Erodium ciculatium* subsp. *cicutarium*
Scirpus holoschoenus var. *romanus*
Artemisia campestris subsp. *glutinosa*
Helichrysum stoechas
Teucrium belion

Diantho-Corynephoretum

richesse env. 19 sp/peuplt. — *Corynephorus canescens*
Dianthus pyrenaicus subsp. *catalaunicus*
Paronychia argentea
Medicago littoralis
Plantago bellardii
Alkanna tinctaria

Cladonia-Ephredetum

richesse env. 17 sp/peuplt. — *Ephedra distachya*
Cladonia pl. sp.
Paronychia argentea
Aetharhiza bulbosa
Plantago bellardii
Dianthus pyrenaicus subsp. *catalaunicus*

Milieux forestiers ou préforestiers

groupement à *Pinus* sp et *Juniperus phonicea*

richesse env. 20 sp/peuplt. — *Pinus pinea*
Pinus pinaster
Pinus halepensis
Juniperus phoenicea
Phillyrea angustifolia
Pistacia lentiscus
Helichrysum stoechas
Cistus salvifolius

a) L'hydrosère

Des milieux les plus secs vers les plus humides, des plus doux vers les plus salés, on distinguera :

Staticetum echiodis

richesse env. 26 sp./peuplt. — *Limonium echiodes*
Avellinias michelli
Arenaria serpyllifolia
Vulpia fasciculata

Imperato-Erianthetum

richesse env. 11-18 sp/peuplt selon la sous-association — *Imperata cylindrica*
Saccharum ravennae
Scirpus holoschoenus var *romanus*
Helichrysum stoechas

Holoschoenetum romani

richesse env. 8 sp./peuplt. — *Juncus acutus*
Scirpus holoschoenus var. *romanus*
Saccharum ravennae
Schoenus nigricans
Agrostis stolonifera

Juncetum acutae

richesse env. 12 sp/peuplt. — *Juncus acutus*
Scirpus holoschoenus var. *romanus*
Saccharum ravennae
Schoenus nigricans
Ditrichia viscosa
Limonium vulgare subsp. *serotinum*
Parapholis filiformis
Polypogon maritimus

Schoeno-Plantaginetum crassifoliae

richesse env. 10-16 sp/peuplt — *Dorycnium pentaphyllum* subsp. *gracile*
Plantago crassifolia
Linum maritimum
Schoenus nigricans

— Groupement à *Spartina versicolor*

richesse env. 12-18 sp/peuplt — *Spartina versicolor*
Inula crithmoides
Anthemis maritima
Melilotus alba
Halimione portulacoides
Plantago crassifolia

Artemisio-Staticetum virgatae

richesse env. 4-10 sp/peuplt. selon la sous-association ou la variante — *Artemisia caerulescens* subsp. *gallica*
Limonium oleifolium
Limonium girardianum
Plantago coronopus f. *minor*
Parapholis filiformis

Limoniastro-Staticetum lychnidifoliae

richesse env 11-19 sp/peuplt selon la sous-association ou la variante — *Limonium binervosum*
Arthrocnemum fruticosum
Arthrocnemum glaucum
Artemisia caerulescens subsp. *gallica*

3.2. *LES GRADIENTS PHYTOGÉOGRAPHIQUES*

Une première approche de la distribution géographique des peuplements végétaux révèle l'existence de gradients le long de la côte. Ceux-ci concernent surtout les secteurs en arrière du front de mer.

En Petite Camargue et en Camargue, MOLINIER et TALLON (1965) décrivent un *Artemisio-Teucrietum maritimi* qui remplace le *Crucianelletum maritimae* commun dans la même situation entre le Grau du Roi et l'embouchure de la Tét. Il s'en distingue par l'absence de *Crucianella maritima*, l'abondance d'*Erodium cicutarium* subsp. *cicutarium* et une plus grande richesse specifique. Au Sud de la Tét sur les sables siliceux le *Diantho-Corynephoretum* et le *Cladonio-Ephedretum* le remplacent avec un cortège floristique tout à fait remarquable qui les fait considérer comme endémiques de la Catalogne (BAUDIÈRE et SIMONNEAU, 1974).

Des gradients similaires s'observent également dans les dépressions interdunaires : le *Juncetum acutae*, l'*Imperato-Arianthetum* en Camargue, le *Limoniastro-Staticetum lychnidifolhae*, divers groupements dominés par *Spartina versicolor* ou par des *Limonium* dans la partie sud du Languedoc ou en Roussillon.

Les particularités de la distribution des associations sous-entendent des gradients de milieux qui sont confirmés par les limites biogéographiques d'un certain nombre d'espèces : *Limonium diffusum, L. ramosissimum* subsp. *provinciale, Limoniastrum monopetalum, Dianthus pyrenaicus* subsp. *catalaunicus*, etc. Ces espèces ont des localisations catalanes ou atteignent leur limite nord à la frontière de l'Aude et de l'Hérault. La présence de sable calcaire joue un rôle dans cette localisation mais on ne doit pas négliger celui du climat et singulièrement celui des minimums hivernaux. La répartition de *Thymelea hirsuta* est en cela remarquable. Dans l'Aude sa limite nord se situe vers l'île St. Martin, puis il présente un hiatus jusqu'en Grande Camargue où J.A. RIOUX l'a découvert en 1977 (DOMMEE *et al*, 1984 et RIOUX comm. verb.). Il évite ainsi les isothères de m + 2°C. Sa présence camargnaise est cependant précaire. Il semble avoir bénéficié d'une série d'hivers relativement doux pour s'implanter car à la suite des froids de janvier 1985 sa population y a été pratiquement anéantie (DENELI F et DOMMEE, comm. verb.). Ce comportement à éclipse n'est sûrement pas accidentel puisqu'on retrouve sa trace dans les herbiers : à Sète, herbier GUILLON et au «Grau d'Aigues-mortes» (Aigues-Mortes), herbier de GIRARD (DOMMEE *et al.*, 1984), alors qu'il n'est plus signalé actuellement dans ces stations.

3.3. *LA STRUCTURE DE LA VÉGÉTATION DUNAIRE*

Schématiquement le milieu dunaire peut être subdivisé en quatre parties : le haut de plage, le front de dune, la dune herbacée, la dune boisée.

33.1. Le haut de plage

Il est soumis à l'action marine et éolienne. En période de beau temps, le jet de rive ne l'atteint pas mais par vent de mer du sable peut venir s'accumuler en pied de dune donnant à la plage une pente qui dépend de sa largeur et de la granulométrie des matériaux. Par gros temps le jet de rive l'atteint, apportant du sable en très grande quantité ainsi que le montrent les expériences de piégeage à l'aide de réseaux de ganivelles. Du fait du caractère saisonnier de ces types de temps, le profil de la plage présente un cycle annuel. Toutefois la violence des courants de retour peut être telle en période de tempête qu'il s'ensuit une érosion surtout si le profil en long de la dune et (ou) de la plage présente de fortes irrégularités (brèches, inversions du profil transversal, etc.). Dans ce cas les vagues de retrait se concentrent localement, au lieu de s'écouler en nappe, provoquant d'importants creusements sur le pied de dune, la plage et l'avant plage. Si à cette action marine s'ajoute la déflation éolienne due à une faible protection de la dune contre les vents de terre, le sable sec est alors emporté en mer et le haut de plage peut être déblayé jusqu'à l'affleurement du sable humidifié par la frange capillaire (LE DAIN et BARBEL, 1986). Ce phénomène pourrait expliquer l'allure très plate de certaines plages en Camargue et dans l'Aude.

La déflation permanente du sable jusqu'au toit de la frange capillaire détermine un substrat humide, salé et relativement stable, il est alors colonisé par des espèces vivaces résistantes au sel mais sensibles à l'ensevelissement. Elles forment des peuplements que l'on peut rattacher à l'*Arthrocnemetum* ou au *Salicornietum fruticosae* (BAUDIÈRE et SIMONNEAU, 1972 ; LOUMAGNE, 1978 ; ROUZAUD, 1975 ; MOLINIER et TALLON, 1965 ; KUHNHOLTZ-LORDAT, 1929).

Lorsque les mouvements de sable permettent en pied de dune une accumulation de quelques cm ou dm au-dessus de la frange capillaire, l'*Agropyretum mediterraneum* ou des groupements à *Spartina versicolor* s'installent, présentant plusieurs variantes selon la nature et la granulométrie du sable.

Très généralement les phénomènes de déflation et d'accumulation se manifestent de façon irrégulière le long d'une même plage, aussi l'*Agropyretum mediterraneum* ou des groupements à *Spartina* et les groupements halophiles forment des mosaïques.

Les hauts de plage fortement engraissés en sable comme celui de l'Espiguette sont parcourus par des barkanes entre lesquelles peuvent s'implanter des populations fugaces de *Cakile maritima*. Cette zone est le lieu d'installation d'*Ammophila arenaria* qui initie la formation des futurs cordons dunaires.

33.2. Les dunes de front de mer

Elles appartiennent parfois à ce que PASKOFF (1985) appelle les «dunes bordières», mais généralement elles ne représentent que le front attaqué par la houle des «dunes entravées». C'est le domaine de l'*Ammophiletum arundinaceae*.

Habituellement cette association est considérée comme stade pionnier. Si l'on peut être d'accord avec cette interprétation pour les rares portions de littoral en cours de progression, il est plus vraisemblable, le long des côtes qui reculent, qu'elle caractérise des milieux dégradés. La question n'a pas seulement un intérêt sémantique, car une bonnes différenciation des stades pionniers et de ceux en voie de dégradation serait utile pour faire un diagnostic ponctuel et instantané de l'évolution de la dune. On aurait ainsi un indicateur permettant une cartographie fine de leur évolution.

Apparemment, sur sable fin, les peuplements pauvres en espèces et correspondant à ce que KUHNHOLTZ-LORDAT appelle l'*Ammophiletum* jeune seraient le stade pionnier. Par contre les peuplements appartenant à l'*Ammophiletum arundinaceae* de BRAUN-BLANQUET *et al* (1952), ce qui correspond à l'*Ammophiletum* de KUHNHOLTZ-LORDAT, seraient d'interprétation plus ambiguë, le contexte morphologique ou floristique de la dune permettant seul pour l'instant de faire la différence.

Les dunes de front de mer sont le lieu de changements importants et rapides dans la topographie. Des mesures réalisées par COULET (1984) en Camargue montrent des variations de plusieurs dm par mois. Sur les portions de côte où l'accumulation de sable est importante, comme l'Espiguette, la comparaison de photographies prises à quelques années de distance est difficile en raison des bouleversements topographiques qui se produisent en peu d'années.

Dans cette zone les creux interdunaires ne comportent qu'une végétation éparse.

33.3. La dune herbacée

Elle fait partie des «dunes entravées» selon la terminolo-

gie de PASKOFF (1985).

La flore est plus riche, le recouvrement de la végétation est plus important. Le modelage du relief par le vent est bien marqué mais plus lent. Une dune que nous avions suivie pendant cinq ans (CORRE, 1975) n'a pas subi de changement significatif dans sa topographie durant cette période. A Carnon une partie du massif dunaire se profile en «dunes en rateau» avec un front tourné vers la plage. Cette forme est due au remodelage de la topographie par le mistral qui est un vent de terre dominant.

La richesse spécifique, due à des conditions moins contraignantes, révèle plus facilement les nuances du milieu (nature des sédiments, conditions climatiques, etc.), ce qui explique la plus grande originalité régionale des associations végétales (*Artemisio-Teucrietum maritimi, Crucianelletum maritimae, Dianthо-Corynephoretum, Cladonio-Ephedretum*) et la mise en évidence des gradients phytogéographiques décrits ci-dessus

Lorsque la «dune entravée» vient, par érosion marine, en front de mer cette végétation en occupe le revers côté terre. Dans les massifs de quelque étendue, elle se présente très souvent en mosaique (GIGLEUX, 1983) avec des îlôts de l'*Ammophiletum arundinaceae*. En effet, pour des raisons mal connues (dégradation accidentelle, focalisation du vent, etc.), certaines portions du massif subissent une remobilisation importante de leur sable.

Les creux interdunaires ont une végétation plus complexe qu'au voisinage du front de mer. Dans la région de Carnon ou de l'Espiguette, tant que ceux-ci restent au-dessus de l'altitude + 1,70 m NGF, il y a peu de différence du couvert végétal par rapport aux sommets. Au-dessous de cette cote la végétation se différencie selon le seul gradient d'humidité tant que les dunes restent suffisamment proches les unes des autres. Du plus sec vers le plus humide on aura : l'*Holoschoenetum romani*, puis le *Schoeno-Plantaginetum crassifoliae* souvent envahi par *Spartina versicolor*. Lorsque les dunes sont espacées, au gradient d'humidité se superpose un gradient de salinité qui joue par l'importance des valeurs moyennes ainsi que par le rythme des fluctuations saisonnières (CORRE, 1975). Il se traduit par des changements floristiques.

Comme pour la végétation des sommets, les particularités régionales marquent ces toposéquences :

En Camargue, MOLINIER et TALLON (1965) citent à Beauduc la séquence :

dune ▶ *Imperato-Erianthetum imperatetosum* ▶ Idem, *erianthetosum* ▶ *Schoeno-Plantaginetum crassifoliae* (ou parfois le *Juncetum acutae*) ▶ *Artemisio-Staticetum virgatae* ▶ Idem, faciès à *Limonium girardianum* ▶ *Salicornietum fruticosae*.

En Languedoc ou en Petite Camargue on a la séquence :

dune ▶ *Holoschoenetum romani* ▶ *Schoeno-Plantaginetum crassifoliae* sous-association *plantaginetosum* ou *spartinetosum* ▶ *Artemisio-Staticetum virgatae* ▶ *Salicornietum fruticosae*

Plus au Sud dans l'Aude, ROUZAUD (1975) décrit le long du massif dunaire littoral bordant l'étang de Pissevaches la séquence :

dune ▶ groupement à *Spartina versicolor* ▶ groupement à *Limoniastrum monopetalum* ▶ groupement à *Artemisia caerulescens* subsp. *gallica* ▶ *Salicornietum fruticosae*.

Enfin en Roussillon, VOELKEL (1977) oppose à la végétation des sommets de bourrelets sableux, une végétation des creux composée de trois groupements différents : groupement à *Corynephorus canescens*, groupement à *Alkanna tinctoria*, groupement à *Dianthus pyrenaicus* subsp. *catalaunicus*.

33.4. La dune boisée

Spontanément, le couvert végétal de la dune évolue par apparition d'espèces ligneuses : *Phillyrea angustifolia, Juniperus phoenicea, Pistacia lentiscus, Pinus pinea, P. pinaster, P. halepensis*, ... La présence des pins est favorisée par l'homme qui les plante ou les sème.

Les boisements apparaissent sur des massifs ou des cordons dunaires anciens reconnaissables par leur relief émoussé. Leur distribution géographique est cependant très irrégulière d'Est en Ouest. Les secteurs boisés les plus remarquables le long du littoral sableux sont : le bois des Rièges en Camargue, l'ensemble de la Petite Camargue jusqu'au Grau du Roi, la Tamarissière près d'Agde.

Ces dunes boisées appartiennent également aux «dunes entravées». A l'Espiguette certains des massifs dunaires qui les abritent ont une forme lenticulaire et constituent des alignements selon la trace des cordons dunaires d'où ils sont issus. Ils seraient une variante des dunes paraboliques avec un modelage par des vents dominants de même direction mais de sens contraires : le mistral (N.W.), le grec (S.E.).

Le long des côtes très érodées de Petite Camargue on trouve des boisements juste derrière le front de dune où ils subissent fortement l'action des embruns.

Sauf au bois des Rièges, les pins sont partout présents et constituent bien souvent la première espèce ligneuse apparaissant dans le peuplement herbacé.

La colonisation par la forêt semble un phénomène en cours de développement sur une partie du littoral. En Petite Camargue, ZARZYCKI (1961), argumentant à partir du mode de dissémination des espèces, estime que le cortège floristique y est incomplet par sous-représentation des espèces à faible pouvoir de dissémination (myrmécochores, barochores, autochores). A l'Espiguette la plupart des boisements actuels sont apparus sur les photos aériennes postérieures à 1954. Plus à l'Ouest, dans les dunes de Carnon, hormis les boisements artificiels de La Grande Motte, un certain nombre de bosquets de *Pinus halepensis, P. pinaster* ou *P. pinea* s'étendent

La structure en mosaïque des peuplements actuels confirme le risque de déstabilisation périodique et localisé du milieu. Localement la déflation du sable reprend, gênant les régénérations ou ensevelissant les adultes. Le devenir de ces formations boisées est source de préoccupation. Le bois des Rièges dominé par *Juniperus phoenicea* présente des régénérations épisodiques, parfois suffisamment espacées dans le temps pour que l'on s'inquiète de son possible caractère relictuel (MOLINIER et TALLON, 1965). Ailleurs sur les dunes boisées, les populations de pins sont sensibles aux accidents météorologiques. Depuis la tempête de 1982, des mortalités en masse concernent la Petite Camargue, en raison des embruns, des submersions par l'eau de mer et des attaques par les insectes xylophages qui ont suivies, auxquels s'est ajoutée la sécheresse de 1985.

Actuellement la régénération des pins est importante, ce qui est une raison d'espoir pour la reconstitution des boisements, bien que nous n'ayons pas assez de recul pour juger de la pérennité du phénomène. En Petite Camargue, BASTIDE en étudie les modalités. Elle arrive à la conclusion que chacune des trois espèces : *Pinus pinea, P. pinaster* et *P. halepensis* présente à cet égard des particularités complémentaires leur permettant de s'installer dans une relativement large gamme de milieux pourvu que le sol soit en bonne voie de stabilisation :

Pinus pinea : préférence pour le *Crucianelletum maritimae* et l'*Artemisio-Teucrietum maritimi*, le recouvrement de la végétation est peu important, le sol est sec, non salé

Pinus pinaster : préférence pour l'*Holoschoenetum romani*, le recouvrement de la végétation peut être dense, le sol est humide, non salé.

Pinus halepensis : préférence pour le *Crucianelletum maritimae, l'Artemisio-Teucrietum maritimi, l'Holoschoenetum romani*, peut se rencontrer dans l'*Agropyreto-Inuletum crithmoidis*, est indifférent à l'humidité, supporte mieux le sel dans le sol.

4 — CONCLUSIONS

1 — L'interprétation de la végétation des hauts de plages est à revoir compte tenu des nouvelles synthèses élaborées sur la dynamique marine et éolienne des sables. En particulier l'*Agropyretum mediterraneum*, certains groupements à *Spartina versicolor* où la végétation des Chénopodiacées halophiles seraient des groupements, la plupart du temps sans suite évolutive, traduisant des différences dans le bilan du mouvement des sables. Ils caractériseraient des systèmes biologiques déterminés par l'influence prépondérante de la mer et secondairement par celle du vent.

2 — La séquence *Agropyretum mediterraneum - Ammophiletum arundinaceae - Crucianelletum maritimae* — groupement ligneux (*Juniperus phoenicea*) ou leurs vicariants est généralement interprétée comme une évolution depuis les stades pionniers du bord de mer jusqu'au «climax» de l'intérieur. Du point de vue de l'analyse du milieu, il semble plus rationnel d'en retrancher l'*Agropyretum mediterraneum*. Le reste de la séquence appartiendrait à un système «dune» marqué par l'influence prépondérante du vent et secondairement de la mer. Elle correspond à une formulation particulière d'un gradient dans le degré de stabilisation du milieu.

De toutes façons, la structure en mosaïque de la végétation dunaire interdit de prendre au pied de la lettre ce modèle linéaire d'évolution. En matière de gestion il peut conduire à des contresens et faire interpréter des milieux en cours de déstabilisation comme ayant une tendance inverse.

Il serait préférable de distinguer des ensembles de groupements végétaux caractérisant des secteurs évoluant selon un cycle plus ou moins long et complexe dont la position dans le massif dunaire serait déterminée par la probabilité des perturbations éoliennes (Tabl. 2).

La géomorphologie dunaire, par la différenciation progressive des formes générales du relief qu'elle permet de décrire pourrait être prise comme appui principal pour délimiter les séquences évolutives qui marquent la «maturation» progressive du couvert végétal.

3 — Les gradients de végétation de pied de dune sont au moins en partie sous la dépendance de la construction et de la fixation de la dune par sa végétation. A ce titre il y a lieu d'individualiser des systèmes biologiques regroupant des éléments appartenant à la xérosère et à l'hydrosère (CORRE, 1983).

4 — La répartition de la végétation le long de la côte du Golfe du Lion montre l'existence de gradients non liés aux perturbations marines ou éoliennes, mais dépendant de la nature des sables et des conditions climatiques.

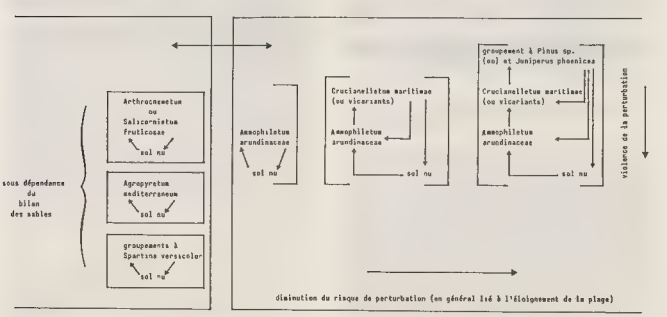
BIBLIOGRAPHIE

BASTIDE (B.), 1984. — *Les dunes intérieures de l'Espiguette et leur végétation ligneuse*. DEA, Montpellier, 24 pp

BAUDIÈRE (A.) & SIMONNEAU (P.), 1968. — Étude phytosociologique du cordon littoral de Barcarès-Leucate. *Vie et Milieu*, 19 (1b), 11-48.

TABLEAU 2

Schéma de la structure et de la dynamique des systèmes littoraux dans les secteurs dunaires du Golfe du Lion



BAUDIÈRE (A.) & SIMONNEAU (P.), 1971a. — La dune suspendue du rocher de Leucate (dépt. de l'Aude, France). *in : Colloques phytosociologiques. I Dunes.* J. Cramer, 1975, 99-105.

BAUDIÈRE (A.) & SIMONNEAU (P.), 1971b. — Les dunes basses à *Spartina versicolor* Fabre du Grau de la Vieille-Nouvelle (Aude). *In : Colloques phytosociologiques. I. Dunes.* J. Cramer, 1975, 107-116

BAUDIÈRE (A.) & SIMONNEAU (P.), 1971c. — Influence des vents dans l'édification du modelé dunaire sur le cordon littoral roussillonais au sud de l'embouchure de la Têt. *In · Colloques phytosociologiques. I Dunes.* J. Cramer, 1975, 225-236.

BAUDIÈRE (A.) & SIMONNEAU (P.), 1972. — Esquisse phytosociologique du cordon littoral audois. *Bull. Soc. Etudes et Sci nat. Nîmes*, 52, 75-107

BAUDIÈRE (A.) & SIMONNEAU (P.), 1974. — Les groupements à *Corynephorus canescens* (L.) P. Beauv. et à *Ephedra distachya* L. du littoral roussillonais. *Vie et Milieu*, 24 (10), 21-42.

BAZILLE (F.), 1974. — Nouvelles données sur l'âge des cordons littoraux récents du golfe d'Aigues-Mortes. *Bull. Soc. Languedocienne Géogr.*, 8 (3-4), 199-206

BRAUN-BLANQUET (J.), ROUSSINE (J.) & NEGRE (R.), 1952. — *Les groupements végétaux de la France méditerranéenne.* C.N.R.S., 297 pp. + pl.

CLIQUE (P.M.), FEUILLET (J.) & COEFFE (M.G.), 1984 — *Catalogue sédimentologique des côtes françaises. Côtes de la Méditerranée de la frontière espagnole à la frontière italienne. Partie A. de la frontière espagnole à Sète.* Coll. de la Dir des Et. et Rech d'EDF ; édit. Eyrolles, 1-105

CORRE (J.-J.), 1975. — *Étude phyto-écologique des milieux littoraux salés en Languedoc et en Camargue.* Thèse de doctorat d'Etat, Montpellier, C.N.R.S. AO 3131, 179 pp

CORRE (J.-J.), 1983 — Structure de la végétation littorale. Les relations entre peuplements végétaux : une conséquence de leur action sur le milieu. *Acta oecologia. Oecol. gener.*, 1983, 4 (1), 3-12

COULET (E.), 1984. — *Rapport au Conseil scientifique du 14 décembre 1984.* Réserve nationale de Camargue, 37 pp

DOMMÉE (B.), DENELLE (N.) & RIOUX (J.-A.), 1984. — Proportions des sexes dans deux populations françaises de *Thymelaea hirsuta* (L.) Endl. *Bull. Soc. bot Fr.*, 131, Lettres bot., 1984 (3), 201-205.

DUBOUL-RAZAVET (Ch.), 1954. — *Contribution à l'étude géologique et sédimentologique du delta du Rhône.* Thèse, Fac. Sci. Paris, 234 pp.

GIGLEUX (I.), 1983. — *Structure de la végétation de deux milieux littoraux languedociens.* D.E.A. Montpellier, 42 pp.

GRESLOU (M.), 1984. — *Catalogne sédimentologique des côtes françaises. Côtes de la Méditerranée de la frontiere espagnole à la frontière italienne. Partie B. de Sète à Marseille.* Coll. de la Dir. Et. et Rech d'EDF ; édit. Eyrolles, 106-187.

KUHNHOLTZ-LORDAT (G.), 1929. — *Essai de géographie botanique sur les dunes du Golfe du Lion.* Les Presses Universitaires de France, Paris, 307 pp.

LE DAIN (A.Y.) & BARBEL (J.P.), 1985. — *La restauration des dunes des Orpellières, commune de Sérignan (Hérault).* Doc. I.A.R.E./Conservatoire du littoral, t. 1., 17 pp., t. 2, 34 pp.

LE DAIN (A.Y.) & BARBEL (J.P.), 1985. — *La restauration des dunes de la Redoute commune de Portiragnes (Hérault).* Doc. I.A.R.E./D.R.A.E. Languedoc-Roussillon, 7 pp.

LE DAIN (A.Y.) & BARBEL (J.P.), 1986 (sous presse). — *Le lido de Sète. Protection du littoral et morphologie des systèmes sableux.* Doc. I.A.R.E./D.R.A.E. Languedoc-Roussillon/ville de Sète, 15 pp.

LE DAIN (A.Y.) & BARBEL (J.P.), 1986 (sous presse). — *Morphologie des systèmes dunaires héraultais. Rôles respectifs de la mer et des vents : premières observations.* Doc. I.A.R.E./E.I.D., 20 pp

LOUMAGNE (Ch.), 1978. — *La végétation, indicateur des aires culicidogènes dans le complexe lagunaire Capistoul-Campignol-Gruissan (Aude).* Thèse d'Université, Montpellier-Perpignan, 498 pp. + annexes.

MOLINIER (R.) & TALLON (G.), 1965. — Etudes botaniques en Camargue. I. La Camargue, pays de dunes. II. Vers la forêt en Camargue. *Terre et Vie*, 1ère série, 19, 1-192.

MOLINIER (R.) & TALLON (G.), 1974. — Documents pour un inventaire des plantes vasculaires de la Camargue. *Bull. Mus. Hist. nat. Marseille*, 34, 7-165.

PASKOFF (R.), 1985. — *Les littoraux. Impact des aménagements sur leur évolution.* Coll. Géographie, Masson, Paris, 185 pp.

RÉGY (P.), 1867. — *Assainissement du littoral méditerranéen du département de l'Hérault. Rapport de l'ingénieur en Chef. Ponts et Chaussées. Département de l'Hérault.* Archives départementales de l'Hérault, 213 pp. + tabl

ROUZAUD (Ch.), 1975. — *Les groupements végétaux du bassin de l'étang de Pissevaches (Aude) et leurs relations avec les aires culicidogènes.* Thèse d'Université, Montpellier, 297 pp. + annexes.

RUEDA (F.), 1985. — *Le littoral de l'Hérault et du Gard.* Serv mant. et de navigation côtière du Languedoc-Roussillon, 154 pp

VOELCKEL (Ch.), 1977. —*Contribution à l'étude écologique des aires culicidogènes du complexe lagunaire de Saint-Nazaire (Roussillon).* Thèse d'Université, Montpellier, 297 pp. + annexes.

ZARZYCKI (K.), 1961. — Etude sur la végétation des dunes anciennes en Petite Camargue. *Acta Soc. Bot. Poliniae*, 30, p. 577-610.

Bull Ecol., t. 18, 2, 1987, p. 209-212

CONSÉQUENCES POUR LES MILIEUX NATURELS DES INTERVENTIONS HUMAINES SUR LE LITTORAL SABLEUX DU DELTA DU RHÔNE

par Louis BIGOT(1), Jacques PICARD(2) et Marie-Louise ROMAN(3)

MOTS-CLÉS : Littoral sableux, plage, dune - Milieux naturels - Impact humain - Delta du Rhône

KEY-WORDS : Sandy coast, beach, dune - Natural environment - Human impact - Rhône delta

RÉSUMÉ

Les auteurs dégagent les conséquences des interventions humaines sur les plages et les dunes soumises à l'influence du Rhône

Dans ces milieux extrêmes, les interventions externes au secteur étudié provoquent, entre autres : le recul de la ligne de rivage nécessitant l'édification d'épis protecteurs, le dépôt d'hydrocarbures jusque dans la dune, la pollution des eaux de surface à l'embouchure du Rhône

Les interventions internes au secteur étudié ont soit des effets négatifs (râtissage des laisses de plage, combustion des bois échoués...) soit des effets positifs (déchets alimentaires, excréments...) ou encore des effets incertains en l'état actuel de nos connaissances (cas des Donax, des lapins, ..)

Les effets positifs favorisent peu de constituants des écosystèmes tandis que les effets négatifs tendent à supprimer des compartiments complets d'écosystèmes.

SUMMARY

Consequences of human interventions on natural sand areas of the sea-shore in the Rhone Delta

After a study on beaches and dunes submitted to the Rhone River's influence, the consequence of human intervention become apparent.

In the studied sector of those upmost middles, the external actions induce : the receding of beach needing the building of angle breakwaters, the hydrocarbon deposit as far as in the dunes, the pollution of superficial waters in the Rhone's estuary, ...

The internal interventions have various consequences on this littoral : negative results (raking of sea-deposits, burning of grounded woods,), positive results (alimentary rejects, excrements, ...), or uncertain results in our actual knowledge (cases of Donax, rabbits, ...). The positive effects are in favour of not much ecosystem elements whereas the negative effects trends towards suppress some whole ecosystem's compartments.

Le cadre sédimentologique (BLANC, 1982) et phytosociologique (MOLINIER et TALLON, 1965 ; GEHU, 1983) est, en ce qui concerne le delta du Rhône (Fig. 1), suffisamment bien connu pour qu'il ait été possible d'aborder utilement l'écologie animale de tels «milieux extrêmes» (BIGOT, PICARD, ROMAN, 1982 ; BELLAN-SANTINI, PICARD, ROMAN, 1984), donc de prendre en compte l'ensemble des écosystèmes de plage et de dune, et d'y répertorier les modifications qu'ils subissent du fait des interventions humaines.

Il convient de distinguer les conséquences des inteventions humaines externes au secteur côtier (mais qui ont des répercussions sur ce secteur), et les conséquences des interventions humaines internes à ce secteur côtier (qui sont donc, *a priori*, les plus aisément contrôlables).

1 — CONSÉQUENCES DES INTERVENTIONS HUMAINES EXTERNES AU SECTEUR CÔTIER ÉTUDIÉ

1.1. *LE RECUL, PUIS LE RÉÉQUILIBRAGE DE LA LIGNE DE RIVAGE.*

Il est évident que se sont succédées deux phases, l'une négative, l'autre positive. La phase négative résulte d'un choix effectué sur le plan national sans que les conséquences sur le plan local aient été suffisamment envisagées : au cours des dernières décennies, la régularisation du cours du Rhône par des ouvrages d'art (digues, barrages...) limitant l'effet des crues, et la multiplication des prélèvements de sédiment dans son lit, ont engendré, à l'embouchure du fleuve, un net déficit des apports de sable. Donc il y a déséquilibre car les tempêtes dispersent davantage de sable vers la haute mer qu'il n'en est apporté actuellement par le fleuve, d'où érosion et recul de la ligne de rivage (PONEL, 1986). La phase positive correspond à la prise de conscience de ce processus et aux tentatives pour en enrayer les effets qui menacent directement des zones

(1) Laboratoire de Biologie Animale (Ecologie), Faculté des Sciences de Saint-Jérôme, rue Henri Poincaré — 13397 MARSEILLE cedex 13

(2) 11, Allée Albenz — 13008 MARSEILLE

(3) Centre d'étude des ressources animales maritimes, Faculté des Sciences de Saint-Jérôme, rue Henri Poincaré — 13397 MARSEILLE Cedex 13.

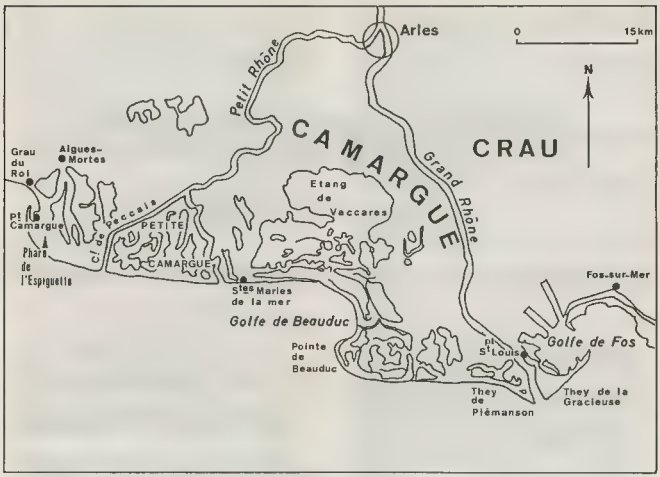


FIG. 1. — Le delta du Rhône

cultivées, des salines et des milieux naturels sans équivalents : l'édification de nombreux épis perpendiculaires au rivage, épis constitués de blocs rocheux, permet une stabilisation de la ligne de rivage et une reconstitution, en arrière de celle-ci, de chaînons dunaires au moyen de fascines et de sable rebroussé à la pelle mécanique, tentatives qui s'avéraient dérisoires avant que les épis rocheux ne soient édifiés. On notera que la multiplication des épis rocheux, outre qu'elle détruit la perspective de ces immenses plages, rend plus difficile certaines pêches artisanales traditionnelles (utilisation des grandes senne, récoltes sur les hauts-fonds des *Donax* par les «tellimers»), mais la reconstitution et le réaménagement des milieux naturels (blocs rocheux créant de nouveaux abris pour certains invertébrés des plages tels que le carabique *Eurynebria complanata*, rétention entre les épis rocheux de débris organiques et de petites épaves fournissant nourriture et refuges pour de nombreux invertébrés qui peuvent alors y proliférer) est un fait très nettement positif.

1.2. *LE «MAZOUTAGE»*

Deux modalités peuvent être distinguées. D'abord l'échouage direct sur la plage de traces huileuses imprégnant localement le sable, et de boulettes indurées qui se mélangent aux laisses : paradoxalement, cette modalité directe est peu préjudiciable au peuplement de la plage, constitué d'espèces très mobiles qui s'écartent rapidement des aires polluées. Ensuite le transport par le vent jusque dans la dune de matériaux plastiques légers qui ont été englués d'hydrocarbures lorsqu'ils flottaient à la surface de la mer : l'accumulation de ces matériaux au pied des végétaux est particulièrement dangereuse pour la faune à faible mobilité qui fréquente ces plantes, en particulier pour les Mollusques terrestres qui sont alors décimés.

1.3. *LA POLLUTION DES EAUX DE SURFACE D'ORIGINE RHODANIENNE*

Aux environs immédiats de l'embouchure du grand Rhône, les eaux adoucies sont chargées en matières organiques et en polluants divers ; l'appauvrissement en oxygène provoque alors soit l'élimination de certaines espèces marines benthiques (par exemple les *Donax*) soit leur remplacement par des espèces mieux adaptées (par exemple remplacement de la Polychète d'eau de composition normale *Nerine mesnili* par la Polychète d'eau polluée *Scolelepis fuliginosa*).

2 — CONSÉQUENCES DES INTERVENTIONS HUMAINES INTERNES AU SECTEUR CÔTIER ÉTUDIÉ

2.1. *LES EFFETS NÉGATIFS, DIRECTEMENT OBSERVABLES*

2.1.1. Le ratissage et l'enlèvement, lors de l'entretien des plages, des laisses et des petites épaves, en même temps que des déchets résultats de la fréquentation par les usagers du bord de mer, entraînent à la fois une perte de nourriture (diminution des populations du Coléoptère Ténébrionidé *Phaleria provincialis*) et une perte d'abris (raréfaction du Dermaptère *Labidura riparia*).

2.1.2. La destruction des troncs d'arbres échoués, soit par tronçonnage suivi d'enlèvement par les autochtones, soit par combustion sur place pour la cuisson de la nourriture par les campeurs et pique-niqueurs, entraîne l'extinction du microécosystème riche en arthropopdes (Crustacés Amphipodes et Isopodes, Insectes Coléoptères Curculinidés et Cérambycidés, ...) qui leur est inféodé (BIGOT, PICARD, ROMÁN, 1982) et de certaines grosses espèces de Coléoptères (*Calicnemis, Eurynebra...*) pour qui un abri sous les troncs est nécessaire pendant une partie de leur rythme nycténéral. On constate que les bois partiellement brûlés deviennent, pendant plusieurs mois, maptes au développement du microécosystème à base d'arthropodes, probablement du fait que ne peuvent alors s'y établir les bactéries et filaments de mycélium qui provoquent le pourrissement du bois et permettent, directement ou indirectement, l'alimentation des arthropodes.

2.1.3. L'écrasement des laisses, des petites épaves et de la végétation dunaire par les roues des véhicules a un effet appauvrissant certain. Dans le cas du sable nu, l'effet est bien différent suivant qu'il s'agit de sable sec (effet peu important sur les invertébrés, pour la plupart profondément enfouis dans la journée), ou de sable humide qui, subitement tassé, emprisonne définitivement certains invertébrés incapables de se dégager.

2.2. *LES EFFETS POSITIFS, DU MOINS DANS L'IMMÉDIAT, AVEC OPTIMUM SAISONNIER*

2.2.1. L'apport de débris alimentaires d'origines végétales et animales laissés par les touristes compense souvent semble-t-il, la perte de nourriture due à la raréfaction des laisses enlevées par les plagistes et à la diminution des cadavres de poissons en épaves du fait de l'abandon de la pêche avec la grande senne. C'est ainsi que les débris végétaux, pourrissant dans le sable, peuvent amener localement la pullulation du Ténébrionidé *Pimelia bipunctata* qui se déplace activement sur le sable en plein soleil.

2.2.2. Les dépôts de crottin de cheval, résultant du développement des randonnées équestres estivales favorisent la pullulation de petits rongeurs qui se nourrissent du grain non digéré par les chevaux. La présence de ces rongeurs attirent les mammifères prédateurs nocturnes et même, localement, au lever du jour, de petits rapaces. L'intervention de ces prédateurs limite le risque que ferait courir aux graines des plantes dunaires, en période hivernale, des hordes de petits rongeurs affamés.

2.2.3. L'apport d'excréments humains dans les dunes proches des plages les plus fréquentées durant la belle saison, provoque la multiplication du Coléoptère Scarabéidé *Scarabaeus semipunctatus.*

2.3. LES EFFETS INCERTAINS, DU FAIT D'UN PSEUDOÉQUILIBRE SUBTIL ET PEUT-ÊTRE MOMENTANÉ

2.3.1. **La récolte des *Donax* par les «telliniers».** L'exploitation traditionnelle s'effectue au moyen de sortes de dragues trées, dans quelques décimètres d'eau sur les rides de sable, par les pêcheurs eux-mêmes ; ces derniers trient ensuite leur récolte sur le bas de la plage émergée y laissant mourir les crabes *Portumnus*, prédateurs naturels des *Donax* ; les cadavres des *Portumnus* sont ensuite déchiquetés par les oiseaux de mer et les petits débris sont consommés par le Cirolanide *Eurydice*. Dans ce type d'exploitation des *Donax*, la destruction simultanée du principal prédateur évite que soit créé un déséquilibre entre proie et prédateur dans ce qui subsiste du peuplement d'origine. Un nouveau type d'exploitation tend actuellement à se développer, les *Donax* étant alors pêchés plus profondément au moyen de dragues légères tirées par des embarcations à moteur : les *Portumnus* sont alors rejetés directement à l'eau, et il est à craindre que s'installe rapidement un déséquilibre en faveur du prédateur ainsi épargné, et cela d'autant plus que la récolte au moyen d'embarcations opérant au large des nouveaux épis rocheux s'avère plus fructueuse que celle effectuées entre ces épis où la population de *Donax* paraît s'épuiser assez rapidement

2.3 2. **La pêche des poissons de pleine eau et de fond au moyen de la grande senne ou «boulié».** Contrairement à une opinion souvent émise, la traction sur le fond de ces lourds filets en arc-de-cercle, tirés à partir de la plage, jadis à force de bras, aujourd'hui avec des treuils montés sur des véhicules à moteur, ne provoque aucune nuisance particulière sur ces côtes de mode très battu dépourvues d'herbier de Phanérogames marines susceptibles d'être arrachées, et peuplées d'invertébrés très mobiles qui reprennent leur position habituelle dans le sable sitôt passé le filet. Il est d'ailleurs aisé de constater que ces filets ne remontent sur la grève que des poissons exploitables, des crabes équarrisseurs *Macropipus* et des débris inertes. Les poissons morts qui échappent à la récolte sont immédiatement consommés : sur et sous l'eau par les oiseaux de mer et par les *Macropipus*, sur la grève par de petits Crustacés (*Eurydice, Talitrus...*) et par des Coléoptères Histéridés (*Saprinus, Hypocaccus...*)

2.3.3. **La chasse aux lapins dans les dunes.** La pullulation locale des lapins ne paraît pouvoir être enrayée, faute d'une population suffisante de renards, que par la pratique de la chasse. Cette pullulation des lapins peut s'avérer à la limite dangereuse dans la mesure où ces rongeurs s'attaquent aux plantes dunaires fixatrices de sable. Nous avons ainsi pu constater les dégâts causés par les lapins dans les pelouses à *Sporobolus* (Graminée), pelouses développées dans des zones de dunes en voie de reinstallation

Ces dépradations entretiennent la subsistance de couloirs de sable mobile qui empêchent les chaînons dunaires isolés de se souder entre eux pour former un appareil dunaire plus important et stabilisé. D'autre part, les lapins peuvent envahir la nuit la haute plage pour y rechercher fruits et légumes échoués : c'est ainsi qu'un stock important de pommes rejetées sur la grève (suite à une décharge de ces fruits dans le Rhône ou dans l'un de ses affluents) à l'est du phare de l'Espiguette, était largement rongé par les lapins.

2.3.4. **Le piétinement modéré des pentes de la dune et les éboulements qui en résultent.** Notre expérience nous permet de définir, sous ce rapport, deux types de physionomie dunaire. Si le taux de recouvrement végétal est inférieur à 50 %, l'action du piétinement est négligeable, les vents ayant la capacité de remonter le sable sur les pentes de telle sorte qu'il n'y a pas déchaussement durable de la végétation. Si le taux de recouvrement végétal est supérieur à 50 %, le vent n'a plus suffisamment de force pour remonter le sable en quantité suffisante : les éboulements provoqués par le piétinement ne sont pas compensés par l'action éolienne et la dune évolue vers une sorte de pénéplanisation ; en fait le piétinement ne fait alors que hâter le processus naturel inéluctable d'entraînement en contre-bas du sable lors des pluies et des tempêtes. On passe progressivement d'un biotope à peuplement sabulicole à un biotope dont le peuplement s'enrichit en espèces non psammophiles. De toute manière, le piétinement du sable fluide des dunes est essentiellement diurne, et les îlots de végétation sont contournés ; durant la journée, les invertébrés mobiles sont presque tous soit profondément enterrés, soit regroupés à la base des végétaux, échappant ainsi à l'écrasement, dans la mesure où la zone de plage et de dune n'est pas exagérément fréquentée.

2.3.5. **L'envahissement de l'arrière-dune par des organismes importés.** Il s'agit, à l'origine, d'espèces végétales introduites par l'homme généralement nitrophiles ou rudérales (souvent d'ailleurs originaires d'Amérique : *Conyza, Oenothera, Amorpha*...) qui ne sauraient envahir les dunes vives mais qui sont restreintes aux portions dunaires où l'activité éolienne est déjà très affaiblie. Ces plantes favorisent le développement et le stationnement de nombreux insectes, en particulier floricoles. Il y a donc enrichissement qualitatif d'un biotope déjà dégradé, plutôt qu'invasion entraînant la dégradation du biotope

CONCLUSION

On remarque que les interventions humaines internes au secteur étudié s'effectuent en début de chaîne alimentaire dans le cas des effets négatifs et positifs, en cours de chaîne dans le cas des effets incertains. Les effets négatifs concernent d'importants compartiments des écosystèmes (et même la totalité d'un microécosystème, celui des troncs d'arbres échoués) tandis que les effets positifs sont restreints à un petit nombre de ces écosystèmes. Dans ce dernier cas, il est d'ailleurs évident qu'il ne s'agit, en fait, que d'une sorte de suractivation de certains organismes particulièrement aptes à utiliser, donc à résorber, une augmentation anormale de matériel organique dans le biotope considéré : le rôle des «nettoyeurs» naturels (détritivores, saprophages, équarrisseurs...) apparaît ainsi primordial dans l'équilibre des milieux psammiques. Enfin les exemples précédemment répertoriés montrent que la pression humaine est plus diversifiée dans le domaine terrestre (9 citations) que dans le domaine marin (2 citations seulement).

Les agressions socio-économiques qui touchent le littoral — et préférentiellement le littoral sableux — ont soulevé récemment le problème de sa protection. En ce qui concerne la portion de côte qui nous occupe, nous signalons deux territoires protégés : le secteur à l'est du phare de l'Espiguette, acquis par le Conservatoire du Littoral et des Rivages Lacustres et la frange littorale incluse dans le périmètre de la Réserve Zoologique et Botanique de la Camargue.

Des constats similaires à ceux effectués sur le littoral du delta du Rhône doivent pouvoir être effectués pour tous les deltas méditerranéens

BIBLIOGRAPHIE

BELLAN-SANTINI (D.), PICARD (J.) & ROMAN (M. L.), 1985. — Contribution à l'étude des peuplements des milieux extrêmes. II. Distribution des Crustacés de la macrofaune des plages du delta du Rhône. *Ecol. Méditer.*, 10 (3-4), 1-7.

BIGOT (L.), PICARD (J.) & ROMAN (M.L.), 1982. — Contribution à l'étude des peuplements des invertébrés des milieux extrêmes. I. La plage et les dunes vives de l'Espiguette (Grau-du-Roi, Gard). *Ecol. Médit.*, 8 (3), 3-29

BLANC (J J.), 1982. — Sédimentation des marges continentales actuelles et anciennes. MASSON ed., Paris, 1-160.

GÉHU (J.M.), 1983. — (in BIGOT *et al.*). — Contribution à l'étude des peuplements des invertébrés des milieux extrêmes *Mimist Env. et Cadre de Vie*, Paris, 1-246.

MOLINIER (R.) & TALLON (G.), 1965. — La Camargue, pays de dunes *La Terre et la Vie*, Paris, 1-2, 1-192.

PONEL (P.), 1986. — *Les communautés des arthropodes des dunes littorales de Provence. Composition, structure, dynamique spatio-temporelle.* Thèse Univ. Aix-Marseille III, 1-307.

L'INFLUENCE DE LA POLLUTION MARINE SUR LA VÉGÉTATION CÔTIÈRE ITALIENNE

par Romano GELLINI*, Francesco PANTANI**, Paolo GROSSONI* et Filippo BUSSOTTI*

MOTS-CLÉS : Détérioration - Végétation - Tensio-actifs - Pollution des eaux marines

RÉSUMÉ

La végétation côtière du domaine présidentiel de S. Rossore (Toscane) a présenté, à partir des années 60, un grand dépérissement. Cet article en décrit les symptômes et présente les résultats d'expérimentations qui ont permis d'individualiser dans les tensio-actifs la cause principale de la détérioration, en synergie avec le sel marin et des éventuels polluants.

En Italie, les études sur les dommages à la végétation côtière ont débuté vers la moitié des années 60, à S. Rossore, grâce au travail de notre équipe (GELLINI et PAIERO, 1969 ; LAPUCCI *et al.*, 1972).

Le domaine présidentiel de S. Rossore, près de Pise, est compris entre l'embouchure du fleuve Arno et du Serchio ; il est traversé par un canal, le fleuve Morto Nuovo, qui recueille les eaux d'assainissement et les eaux de reflux de la plus grande partie de la zone d'assèchement du Nord-Ouest de Pise.

Les symptômes des dommages et leur succession sont restés à peu près inchangés jusqu'à aujourd'hui ; ils sont caractérisés par les faits suivants :

a) Direction du dommage : il avance depuis le bord de l'eau et s'étend vers l'arrière-pays, surtout près des décharges ou des embouchures des fleuves pollués. Au début, sont atteints les rameaux qui se trouvent du côté du rivage ; quand ils sèchent, le dégât a déjà touché en entier la première bande de végétation ; ensuite il touchera également les bandes arrière avec une progression constante (Fig. 1). Aujourd'hui encore la détérioration commence toujours par les parties de la plante qui sont directement exposées à la mer. Si un obstacle se place entre la mer et la plante, cette dernière ne subit aucun dommage. Le même phénomène se manifeste si les plantes sont lavées avec de l'eau de mer, en enlevant ainsi la patine déposée sur les feuilles après une tempête

* Département de Biologie Végétale, Laboratoire de Botanique forestière - Piale delle Cascine, 28 FLORENCE, Italie

** Institut de Chimie analytique Université de Florence. Via G. Capponi, 9 FLORENCE, Italie

KEY-WORDS : Deterioration - Vegetation - Surfactants - Sea pollution.

SUMMARY

Effects of sea pollution on coastal vegetation of Italy

Coastal vegetation in San Rossore (endowment of the President of the Italian Republic near Pisa) appears to be deteriorating since early 60s. In the present paper, auctors describe the symptomatology of this deterioration and refer the results of a series of studies from which appear that surfactants — especially in synergistic action with sea salts and, if present, pollutants of coastal waters — are the principal responsables of this deterioration.

b) Périodicité du dommage : il peut se manifester pendant toute l'année mais atteint sa plus grande intensité seulement pendant la période qui va de l'automne à l'hiver, quand les vents de mer sont les plus forts (localement appelés «Libeccio»).

c) Spécificité du dégât : la détérioration la plus visible est celle qui intéresse les pinèdes côtières jeunes et anciennes, où sont implantés artificiellement *Pinus pinea* L. et *Pinus pinaster* Ait., mais sont intéressées également les espèces du maquis méditerranéen (même les halophiles) et les espèces introduites pour le décor.

Les seules espèces qui jusqu'à aujourd'hui ont montré une moins grande sensibilité appartiennent aux genres *Phillyrea* et surtout *Pittosporum*.

d) Évolution du dommage : la succession des phases est typique : à la suite d'un fort vent de mer, les feuilles sont recouvertes d'une couche blanchâtre formée par des dépôts d'aérosol et de poussières soulevées depuis le sol ; après une dizaine de jours, les feuilles jaunissent et ensuite commencent à sécher. En ce qui concerne les conifères, le desséchement attaque le sommet des aiguilles, tandis que pour les feuillus, il avance du bord vers le centre des feuilles. Ensuite, les feuilles se détachent et tombent.

Toutes ces observations directes nous permirent de formuler des hypothèses sur la nature de l'agent desséchant et sur ses caractéristiques :

— il s'agit d'un agent de nature abiotique ;

— il provient de la mer ;

FIG. 1. — Aspect actuel de la pinède endommagée du Domaine de San Rossore.

— il est transporté par les vents vers la terre avec les aérosols marins ;

— il s'agit probablement d'un composé se trouvant dans la couche superficielle de l'eau, où se forment les aérosols.

Les substances qui répondent le plus à ces conditions sont les tensio-actifs et le pétrole. D'autres enquêtes nous ont conduit à retenir l'hypothèse des tensio-actifs.

D'autres causes possibles, ont été avancées par divers expérimentateurs, mais ne sont pas encore prouvées ; nous avons vérifié expérimentalement qu'elles ne correspondent pas avec les symptômes observés dans la nature. Les principales hypothèses intéressent : l'érosion côtière et la destruction des dunes, l'abrasion par le sable ; l'infiltration de l'eau de mer dans la nappe phréatique, l'état cultural des pinèdes, la pollution atmosphérique, la déposition des acides. Certaines de ces causes (surtout le recul de la bande côtière) peuvent favoriser la détérioration observée, mais aucune de ces hypothèses ne réussit à expliquer tout à fait le phénomène.

En effet, depuis les premières enquêtes, on releva la présence de tensio-actifs anioniques non biodégradables dans les cours d'eau qui traversent le domaine (Arno, F. Morto, Serchio), dans l'aérosol marin, dans les pluies (jusqu'à 37 mg/l exprimés comme MBAS), et dans les dépôts sur les aiguilles (23,3 mg MBAS/kg d'aiguilles).

Au début des années 70 la situation s'améliora nettement grâce à la loi qui introduisit en Italie l'utilisation obligatoire des détergents biodégradables (à chaîne linéaire), avec, comme conséquence, la réduction du niveau de tensio-actifs dans les eaux superficielles, et surtout grâce aux différentes conditions climatiques (l'absence quasi totale des vents de mer ; BUSSOTTI *et al.*, 1984)

Dès la fin de 1976, la présence de vents de mer et l'emploi toujours plus grand de détergents sans l'installation de déphosphateurs pour les décharges urbaines, ont provoqué rapidement une dégradation de la situation, tant en intensité que dans l'extension des dégâts.

Il est intéressant de remarquer que des dommages comparables ont été signalés en Australie (PITMAN *et al.*, 1977) et en France (DEVÈZE et SIGOILLOT, 1978).

Les enquêtes plus récentes ont permis de se rendre compte exactement de la dynamique de l'action : les rejets urbains, contenant des tensio-actifs avec une concentration de l'ordre de quelques dizaines de mg/l, arrivent au fleuve sans être purifiés ; là, on retrouve les tensio-actifs à une concentration d'environ 0,2 mg/l ; exceptionnellement (période de sécheresse prolongée), les concentrations augmentent en relation avec la diminution du débit (jusqu'à 2 mg/l dans le fleuve Arno) ; dans la mer, les tensio-actifs se trouvent à la limite de la capacité de lecture des instruments analytiques (0,02 - 0,05 mg/l) ; ils se placent de toute façon de préférence à la superficie de l'eau : sur une petite couche d'environ 0,1 mm, leur concentration est de l'ordre de 1 mg/l ; ils se concentrent encore plus au moment de la formation de l'aérosol jusqu'à atteindre de l'ordre de dizaines de $\mu g/m^2$ (LOGLIO *et al.*, 1985) ; l'aérosol, poussé par le vent marin, s'accumule sur le feuillage et atteignent facilement des valeurs supérieures à 100 mg/kg de feuilles fraîches (jusqu'à 514 mg/kg).

Nos expériences et la littérature montrent que les symptômes observés sont dûs soit à une toxicité **directe** de ces composés, qui interfèrent avec des aspects morpho-fonctionnels de la plante, soit à une toxicité **indirecte**, causée par les tensio-actifs, étant donné que ces interférences permettent à des composés eux-mêmes toxiques d'entrer dans les tissus.

Quand les gouttelettes d'aérosol, transportées par le vent, se posent à la surface des aiguilles d'un pin, les tensio-actifs commencent par baisser les tensions superficielles et altérer la transpiration en enlevant les cires épicuticulaires et en détruisant le système fibrillaire-cireux qui protège les stomates

Ainsi, les composés dissous dans les gouttelettes, qu'ils soient naturels et toujours présents (comme les constituants salins) ou d'origine humaine et de concentration variable (comme les polluants), peuvent «contourner» les défenses de la plante et pénétrer dans les tissus et dans les cellules

En partant de ces faits, on a voulu recréer expérimentalement des dommages observés dans la nature en traitant des plantes saines de *Pinus pinea* avec des solutions semblables aux aérosols marins pollués, contenant du NaCl (15 - 120 g/l) et du dodécylbenzensulfonate de sodium (5 - 20 000 mg/l), seuls ou combinés.

Auparavant nous avions déterminé expérimentalement que, pour obtenir un dépôt foliaire de 100 mg MBAS/kg d'aiguilles, il faut partir d'une concentration de tensio-actifs anioniques d'au moins 1000 mg /l.

Ces traitements ont été réalisés sur divers types de plantes, en différents lieux et à différentes périodes de l'année, pendant plusieurs années consécutives. Expliquons brièvement les résultats obtenus dans les diverses combinaisons expérimentales :

a) le seul NaCl (concentré de manière à simuler la salinité normale, 30 gr/l) ne cause aucun dommage considérable aux aiguilles d'un an. Les dégâts se limitent à de petites nécroses à proximité des sommets. Les aiguilles de deux ans ou plus montrent une légère tendance à la phylloptôse et le feuillage plus vieux se réduit considérablement.

b) le seul tensio-actif provoque des taches jaunes qui s'étendent irrégulièrement sur la surface de l'aiguille et qui témoignent d'une destruction localisée de la chrorophylle.

La lésion apparaît 8-10 jours après le traitement et déjà à la concentration de 20 mg/l on observe des jaunissements, même s'ils sont très légers

A des concentrations supérieurs à 500 mg/l ces phénomènes se répandent sur toute la surface de l'aiguille. Il s'agit surtout de jaunissements et presque jamais de nécroses ou de dessèchements. Les aiguilles de deux ans ou plus se révèlent plus sensibles et normalement tombent.

c) la combinaison du tensio-actif et de NaCl produit beaucoup de dégâts et reproduit fidèlement les symptômes observés dans la nature. Les traitements à petites doses de tensio-actif (5-10 mg/l) suffisent pour provoquer les premières lésions ; seulement 2-3 jours après un traitement à doses plus élevées (250 mg/l, avec NaCl à la concentration de la mer), nous observons des dessications étendues.

Les tensio-actifs non ioniques (largement diffusés dans le commerce mais difficiles à analyser dans les eaux) se sont montrés aussi aggressifs que les anioniques. Le synergisme entre tensio-actifs et sel marin est donc fondamental dans la détérioration de la végétation côtière.

Les autres polluants présents dans la mer et dans l'air, comme les métaux lourds, les hydrocarbures, etc., peuvent également jouer un rôle important dans ce synergisme. Par contre le rôle de l'acidité atmosphérique est mis en doute, à cause de la neutralisation qu'elle subit juste au long de la côte (GELLINI *et al.*, 1983).

En effet, les dépôts acides, même s'ils existent dans la zone côtière examinée (PANTANI, 1984), ne paraissent pas liés au dommage spécifiquement relevé.

Ces dégâts semblent donc essentiellement dûs au synergisme qui s'instaure entre les constituants du sel marin et les tensio-actifs.

L'action de ces derniers altère les mécanismes qui permettent aux halophytes de vivre sur le littoral.

Par exemple, *Ammophila littoralis* Rothm., *Calystegia soldanella* R. Br., *Eryngium maritimum* L., *Juniperus oxycedrus* L., *Pancratium maritimum* L. se sont montrés très sensibles aux aérosols pollués ; *Eleagnus angustifolia* L., et *Tamarix gallica* L. le sont également, mais plus légèrement.

Nous avons donc cherché à comprendre les mécanismes de l'absorption saline par les feuilles, surtout pour *Pinus pinea* et *Pinus pinaster*.

DOWDEN *et al.* (1978) avaient observé une grande augmentation de NaCl dans les tissus des feuilles de *Araucaria heterophylla* Franco en cours de détérioration, lorsqu'elles étaient arrosées avec des tensio-actifs

De même, SIGOILLOT (1982) termine sa recherche en remarquant que le NaCl seul, et aux concentrations dans lesquelles il se trouve dans la mer, n'est pas toxique pour le *Pinus halepensis* Mill., mais qu'il le devient en association aux tensio-actifs.

De notre côté nous avons suivi le dynamisme du phénomène en déterminant le contenu en NaCl aussi bien dans les dépôts de surface que dans les tissus des feuilles de *Pinus pinaster* et *Pinus pinea* arrosées naturellement ou artificiellement au niveau du feuillage.

Les analyses chimiques ont été effectuées suivant les méthodes standard : les tensio-actifs par réaction colorimétrique au bleu de méthylène, Cl^- par titrage potentiométrique, Na^+ au moyen de la spectrophotométre à absorption atomique. Les dépôts des feuilles ont été extraits à l'eau distillée (10 : 1v/w).

En ce qui concerne le contenu des tissus des feuilles, nous avons utilisé des échantillons de 5 g de poids frais en suivant la méthode décrite par GRIEVE et PITMAN (1978), modifiée et adaptée aux feuilles étudiées.

Étant donnée l'étroite corrélation entre concentrations en Na^+ et en Cl^-, nous nous sommes souvent référés seulement aux concentrations du deuxième ion

Sur les plantes exposées naturellement, dans les dépôts sur les feuilles de *Pinus pinaster*, ces concentrations d'ion peuvent atteindre des valeurs particulièrement élevées : pendant une période de deux semaines, caractérisée par de forts vents de mer et sans pluies, nous avons enregistré 6.381 mg Cl^-/kg d'aiguilles fraîches et 514 mg/kg d'aiguilles fraîches de MBAS.

Dans des conditions atmosphériques «normales» mais assez proches, nous assistons à un enrichissement progressif de Na^+ et Cl^- dans les tissus des feuilles.

La figure 2 montre la concentration de Cl^- durant 2 mois au printemps, période au cours de laquelle les conditions atmosphériques sont meilleures mais les vents de mer représentent un danger, car ils touchent la végétation au moment du bourgeonnement.

On remarque la différence entre la partie du feuillage exposée vers la mer et celle qui ne l'est pas. Sur la même figure apparaissent également les concentrations respectives de MBAS relevées sur les surfaces des mêmes aiguilles.

La diminution de MBAS dans les dépôts des feuilles apparaît en correspondance avec une période très pluvieuse.

Une accumulation de ions Na^+ et Cl^- dans les tissus et un fort synergisme entre NaCl et tensio-actifs, ont été enregistrés dans les plantes arrosées avec des aérosols artificiels.

La figure 3 montre les résultats de traitements réalisés avec

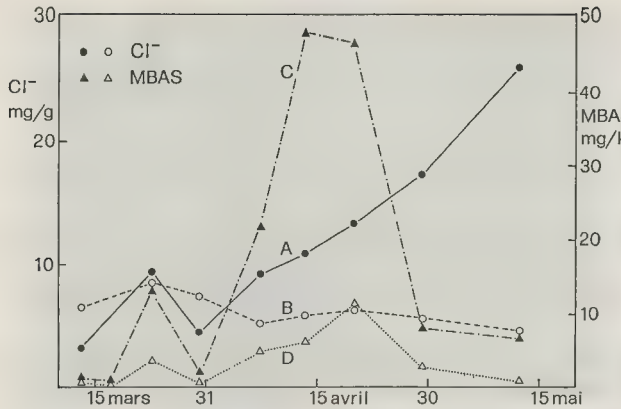


FIG 2 — Aiguilles de *Pinus pinaster* teneur en Cl^- (A, B) dans les tissus foliaires et teneur en tensio-actifs anoniques (C, D) dans les dépôts superficiels. Sur le même arbre les échantillons étaient pris soit exposés à la mer (A, C), soit du côté de la terre (B, D).

des plants de *Pinus pinea* âgées d'environ 10 ans. Ces plants ont été arrosés avec des solutions à différentes concentrations de tensio-actifs et à une concentration constante de NaCl (le contrôle, c'est-à-dire des plantes mouillées seulement avec de l'eau, est resté pratiquement le même au fil du temps).

L'absorption et l'accumulation sont rapides et en peu de temps nous retrouvons dans des aiguilles des concentrations semblables à celles qui existent en situation naturelle après un vent de mer (une semaine après le traitement sont apparues les premières lésions sur les aiguilles des plantes arrosées avec des solutions de NaCl et tensio-actifs)

Au microscope à balayage (SEM) (des échantillons d'environ 3 mm sont fixés dans la glutaraldéhyde et 5 % et ensuite rincés trois fois avec un tampon phosphate, pH 7,4 ; après dishydratation et critical point, les échantillons ont été dorés et observés à 16 kV), les aiguilles de plantes saines de *Pinus pinaster* apparaissent recouvertes d'un couche amorphe, épaisse et continue de cires épicuticulaires, les stomates sont profondément enfoncés dans l'épiderme et montrent, à l'extérieur, une grande chambre épistomatique, qui est protégée par un système de fibrilles cireuses différemment anastromatisées entre elles et constituant un épais réseau (Fig. 4). Des plants de *Pinus pinaster* traités avec NaCl présentent au SEM des lésions toujours réversibles.

A des doses de 30 g/l la couche cireuse épicuticulaire paraît exfoliée en certains points tandis que le système fibrillaire cireux de la chambre épistomatique est en partie détruit (Fig. 5).

Les aiguilles traitées avec NaCl et tensio-actifs présentent des lésions semblables à celles des plantes naturellement exposées à l'aérosol marin pollué. La couche épicuticulaire cireuse semble écaillée et en partie enlevée ; dans la chambre épistomatique on observe la fusion des cires et, en conséquence, l'obstruction du stomate : à ce stade, souvent le réseau fibrillaire est complétement détruit et la rime stomatique apparaît. L'action toxique du NaCl sur ces caractères

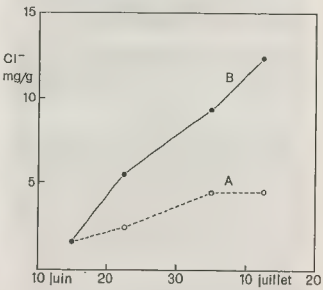


FIG. 3. — Aiguilles de *Pinus pinaster* : teneur en Cl^- dans les tissus foliaires. Plantes arrosées avec NaCl (A) ou NaCl + dodécylbenzensulfonate de sodium (B).

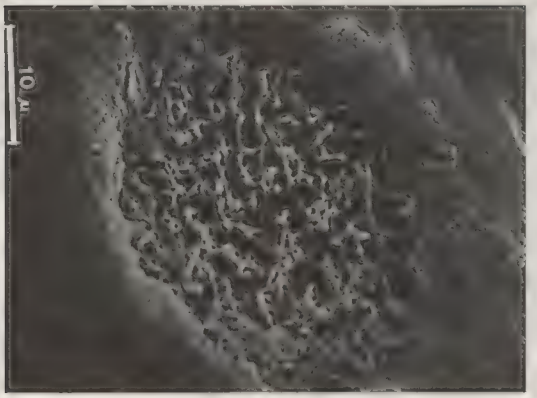


FIG 4. — Plant témoin de *Pinus pinaster* . aiguille vue par le SEM Chambre épistomatique avec le système fibrillaire-cireux intègre.

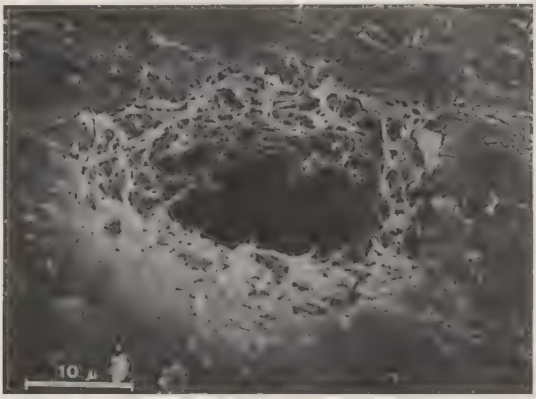


FIG 5 — Plant de *Pinus pinaster* arrosé avec NaCl (30 g/l) aiguille vue par le SEM Le système de fibrilles cireuses est en partie détruit. Quelques jours après l'arrosage le système est reconstitué dans son intégrité

morphologiques est donc accentuée et surtout rendue irréversible par les tensio-actifs (GELLINI *et al.*, 1985).

D'autre part, les tensio-actifs seuls provoquent une remarquable exfoliation de la couche épicuticulaire, tandis que le système fibrillaire est complètement détruit avec une évidente fusion et réagrégation des cires (Fig. 6). Les tensio-actifs ont donc une phytotoxicité directe en agissant à divers niveaux morphologiques et fonctionnels. D'autres expressions de la phytotoxicité des tensio-actifs sont représentées par les actions suivantes :

— Les tensio-actifs solubilisent la fraction lipidique des membranes plastidiales (ITOH *et al.*, 1963 ; HELENIUS et SIMONS, 1975) : l'examen microscopique met en évidence la disparition des chloroplastes et la formation de gouttes soudanophiles. Quand les lésions s'accentuent, les cellules paraissent totalement vidées et même les gouttes soudanophiles ont tendance à diminuer (GELLINI *et al.*, 1983).

— La solubilisation des membranes plastidiales a, comme première conséquence, une réduction du contenu en chlorophylle (GELLINI *et al.*, 1985) et l'arrêt de la photosynthèse (INNAMORATI, 1986).

— Les tensio-actifs inhibent les deshydrogénases pirhydino-dépendantes et rendent inactives toutes les autres deshydrogénases (VINCENZINI *et al.*, 1985).

— Les tensio-actifs interfèrent avec la germination des semences et avec le premier développement des petites plantes (VANDONI et GOLBERG, 1983 ; VINCENZINI *et al.*, 1985 ; GELLINI *et al., données non publiées*)

Les algues et les animaux aquatiques se sont montrés, en général, sensibles aux tensio-actifs, tant au niveau d'effets directs qu'indirects (MARCHETTI, 1965 ; CABRIDENC, 1976 ; BELLAN, 1976). Récemment, certains lichens aussi, (*Ramalina canariensis* et *Ramalina pusilla*), se sont révélés sensibles aux tensio-actifs en devenant également des accumulateurs (ROUX et SIGOILLOT, *comm. pers.*).

Comme nous l'avons déjà dit, notre étude concerne le dépérissement du domaine de S. Rossore, mais la situation des autres côtes Toscanes n'est pas très différente, même si elle n'atteint ni l'intensité ni l'extension observée à S. Rossore. Des dommages d'égale nature se retrouvent tout au long du littoral, tant en présence de sable que de rochers ; font exception les zones le plus à l'abri du vent

Ce genre de détérioration est signalé également dans les pinèdes de la côte du Latium (Castelfusano et Castelporziano) et dans certains zones de la côte adriatique (Porto Sant' Elpidio, Pescara). Naturellement, la manière avec laquelle le dommage se manifeste change, puisque le régime des vents et des courants marins varie.

BIBLIOGRAPHIE

BELLAN (G.), 1976. — La pollution par les tensio-actifs. *In : La pollution des eaux marines*. Gauthier-Villars (Paris), 31-50.

BUSSOTTI (F.), RINALLO (C.), GROSSONI (P.), GELLINI (R.), PANTANI (F.) et CENNI (E.), 1984. — La moria della vegetazione costiera causata dall'inquinamento idrico. *Monti e Boschi*, **35** (6), 47 55

CABRIDENC (R.), 1976. — La pollution des eaux par les détergents. *In : La pollution des eaux continentales*, Gauthier-Villars (Paris), 37-53

FIG. 6. — Plant de *Pinus pinaster* arrosé avec dodécylbenzensulfonate de sodium (1000 mg/l) : aiguille vue par le SEM. Le système fibrillaire cireux est complètement détruit. Ce dégât est irréversible

DEVÈZE (L.) et SIGOILLOT (J.C.), 1978. — Les arbres malades de la mer. *Aménag Reg Provençale*, **19**, 13-24.

DOWDEN (H.G.M.), LAMBERT (M.J.) and TRUMAN (R.), 1978 — Salinity damage to Norfolk Island pines caused by surfactants. II. Effects of sea water and surfactant mixtures on the health of whole plants. *Aust. J. Plant Physiol.*, **5**, 387-395.

GELLINI (R.) e PAIERO (P.), 1969. — Osservazioni preliminari sulle cause del deperimento di alcune pinete litoranee toscane. *Boll. Ingegneri*, **17**, 24-27.

GELLINI (R.), PANTANI (F.), GROSSONI (P.), BUSSOTTI (F.), BARBOLANI (E.) and RINALLO (C.), 1983. — Survey of the deterioration of the coastal vegetation in the park of San Rossore in central Italy. *Eur. J. For. Path.*, **13**, 296-304.

GELLINI (R.), PANTANI (F.), GROSSONI (P.), BUSSOTTI (F.), BARBOLANI (E.) and RINALLO (C.), 1985. — Further investigation on the causes of disorder of the coastal vegetation in the park of San Rossore (central Italy). *Eur. J. For. Path.*, **15**, 145-157.

GRIEVE (A.M.) and PITMAN (M.G.), 1978. — Salinity damage to Norfolk Island pines caused by surfactants. III. Evidence for stomatal penetration as the pathway of salt entry to leaves. *Aust. J. Plant. Physiol.*, **5**, 397-413

HELENIUS (A.) and SIMONS (K.), 1975. — Solubilization of membranes by detergents. *Biochim. Biophys. Acta*, **415**, 29-79.

INNAMORATI (M.), 1986. — Effetti dell'aerosol da acque marine con tensioattivi su *Pinus pinea*. Relaz. Contr. CEE-CNR, ENW, 750 I (EDB).

ITOH (H.), IZAWA (S.) and SHIBATA (K.), 1963. — Disintegration of chloroplasts with dodecylbenzenesulfonate as measured by flattening effect and size distribution. *Biochim. Biophys. Acta*, **69**, 130-142.

LAPUCCI (P.L.), GELLINI (R.) e PAIERO (P.), 1972. — Contaminazione chimica dell'acqua marina quale causa di morìa dei pini lungo le coste tirreniche. Ann. Accad. It. Sci. For., **21**, 323-358.

LOGLIO (G.), TESEI (U.), MORI (G.), CINI (R.) and PANTANI (F.), 1985. — Enrichment and transport of surfactants in marine aerosol formed during particular weather conditions. *Il Nuovo Cimento*, **8C**, (6), 704-713

MARCHETTI (R.), 1965. — Revue critique des effets des detergents synthétiques sur la vie aquatique. *Stud. Rev. gén. Fish. Council Méditer.*, **26**, 182-191.

PANTANI (F.), CELLINI (P.), DEL PANTA (S.) e BUSSOTTI (F.), 1984. — Sulla deposizione acida nella tenuta di San Rossore (Pisa). *Inf. Bot. It.*, **16**, 182-191

PITMAN (M.G.), DOWDEN (H.G.M.), HUMPHREYS (F.R.), LAMBERT (M.), GRIEVE (A.M.) and SCHELTEMA (J.H.), 1977. — The outfall connection. *Australian Natural History*, **3**, (19), 74-81

SIGOILLOT (J.C.), 1982. — *Les aérosols marins en Méditerranée* Th. Doct.-ing. Dév. amélior. Plant. Univ. Aix-Marseille 3.

VANDONI (M.V.) e GOLBERG (F.), 1973. — Influenza del dodecil-benzen-sulfonato sulla germinazione e sul primo sviluppo di vegetali superiori. *Riv. It. Sost. Grasse*, **50**, 357-364.

VINCENZINI (M.T.), FAVILLI (F.), STIO (M.) e VANNI (P.), 1985. — Detergents as selective inhibitors and inactivators of enzymes. *Physiol. Chem. Phys. Med. NMR*, **17**, 279-295

RAPPORT SUR LE **THÈME III**

LA FRANGE DE CONTACT ENTRE LA TERRE ET LA MER

par L. BIGOT, P. GROSSONI ET R. GELLINI

L'axe des quatre communications de ce thème concerne la structure et la dynamique spatio-temporelles, à différentes échelles, des peuplements littoraux, essentiellement sur substrats sableux (plages et dunes).

A l'échelle du biome méditerranéen, les groupements végétaux du littoral se classent d'après leur plus ou moins large répartition biogéographique (GEHU J.M., BIONDI E. et COSTA M.) .

— groupements à large amplitude écologique sur tout le biome ;

— groupements du domaine nord-occidental méditerranéen (ex : *Echinophoro-Ammophiletum arundinaceae*, qui s'étend jusqu'au Péloponèse) ,

— groupements du domaine sud-occidental méditerranéen ;

— groupements de la Méditerranée centrale et orientale ;

— groupements endémiques

A l'échelle des côtes basses du Golfe du Lion, en France (CORRE J.J.), il apparaît que certains groupements végétaux (*Agropyretum mediterraneum*, peuplements à *Spartina versicolor*), déterminés par l'influence prépondérante de la mer et secondairement par celle du vent, seraient sans possibilité d'évolution.

L'*Agropyretum mediterraneum*, rattaché aux peuplements de haut de plage, serait à retrancher de la séquence *Agropyretum mediterraneum-Ammophiletum arundinaceae-Crucianelletum maritimae-* groupement à *Juniperus phoenicea*, qui dépendraient davantage de l'influence des vents.

Il importe de considérer la répartition de la végétation des substrats sableux littoraux — et son évolution dans le temps - en fonction des influences de la xérosère et de l'hygrosère, et en tenant compte de la nature des sables et des conditions climatiques

Le littoral est de plus en plus agressé par l'homme et de profondes perturbations affectent la constitution et la dynamique de ses peuplements (BIGOT L., PICARD J. et ROMAN M.L.).

Les interventions humaines extérieures au littoral provoquent le recul de la ligne de rivage, d'où la nécessaire édification d'épis de protection. Elles conditionnent ainsi une nouvelle structuration du rivage et de ses peuplements. Les dépôts d'hydrocarbures engluent certains insectes du supralittoral et se transportent jusque dans la dune

Les interventions humaines internes au littoral lui-même se manifestent selon trois aspects :

— aspects négatifs : la fréquentation par les usagers de la plage amène la disparition petit à petit de deux microsystèmes à peuplements arthropodiens originaux . les laisses de plage et les bois échoués

— aspects positifs : ils interviennent uniquement dans la chaîne trophique et pendant la belle saison ; il s'agit des dépôts de déchets de nourriture végétale (épluchures de fruits et légumes) et animale (déchets carnés). d'excréments humains et de crottin de cheval . ce matériel provoque l'accroissement des populations d'insectes qui l'exploitent ;

— aspects incertains, dans un pseudo-équilibre peut-être momentané : cas des tellines (*Donax trunculus*) dont le biotope juxta-littoral disparaît (perte économique locale traditionnelle) et des lapins dont la population en extension exploite la végétation dunaire.

Les effets positifs favorisent peu de constituants des écosystèmes tandis que les effets négatifs tendent à supprimer des compartiments entiers d'écosystèmes littoraux.

Un effet particulièrement spectaculaire de l'impact des nuisances apportées par la mer sur la végétation littorale est traitée à partir d'une étude sur la côte de Toscane (GELLINI R., PANTANI F. et GROSSONI P.)

Des composants toxiques d'origine domestique et industrielle déversés dans les cours d'eau sont charriés en mer et entrent dans la formation d'une pellicule superficielle (éventuellement avec des hydrocarbures). Les vents transportent ces tensio-actifs sous formes d'aérosols vers le rivage ; il peut s'en déposer, après une marée d'intensité et de durée notables, plus de 500 mg par kg d'aiguilles fraîches de pin parasol.

L'aire touchée par les aérosols peut atteindre une centaine de mètres de largeur : l'attaque sur la fraction végétale exposée au vent de mer est nette ; une protection contre ce vent empêche l'action polluante de l'aérosol.

Les auteurs ont mis l'accent sur l'analyse du syner-

gisme entre les tensio-actifs et un composant naturel et constant de l'aérosol marin (l'ion chlorure). Celui-ci a été choisi en raison de sa constance, mais il faut rappeler que dans l'aérosol se trouvent souvent des polluants plus ou moins toxiques qui peuvent pénétrer dans les tissus de la même façon que les chlorures pénètrent en présence de tensio-actifs.

Les tensio-actifs agissent soit directement par destruction du pigment chlorophyllien, inhibant la photosynthèse et altérant la germination des graines, soit indirectement en perturbant la fonction des stomates qui laissent pénétrer les sels marins dans les tissus jusqu'au dépassement du seuil de toxicité (cas de *Pinus pinaster*). Les halophytes, de même que *Tamarix gallica* et *Juniperus macrocarpa*, meurent à la suite de l'altération du mécanisme de contrôle de l'absorption et/ou de l'excrétion du sel.

Ces phénomènes, complexes par leur origine comme dans leurs manifestations, exigent une approche multidisciplinaire combinant biologie, chimie et physicochimie. L'accroissement des zones touchées et la gravité du dépérissement provoqué rendent nécessaire une collaboration internationale, menée dans l'esprit du sous-titre de ce colloque, «Mieux connaître pour mieux gérer».

THÈME IV

LES TRANSFERTS LITTORAUX EN MÉDITERRANÉE

Bull. Ecol., t. 18, 2, 1987, p. 225-228

TRANSFERTS LITTORAUX EN MÉDITERRANÉE

par André MONACO

Laboratoire de Sédimentologie et Géochimie Marines
L.A 713 du C.N.R.S
Université de Perpignan — 66025 PERPIGNAN (France)

MOTS-CLÉS : Dynamique sédimentaire - Transferts - Prodeltas -Ecosystème.

KEY-WORDS : Sediments dynamics - Transfers - Prodeltas -Ecosystem.

RÉSUMÉ

L'étude d'un écosystème marin nécessite une approche pluridisciplinaire qui est réalisée dans les recherches les plus récentes menées sur le Golfe du Lion. Dans ce cadre, il est essentiel de définir les processus de transfert et de les quantifier dans la perspective d'une modélisation.

La présente contribution fait le point des travaux antérieurs réalisés dans le domaine néritique qui ont trait à la dynamique des sables littoraux et aux mécanismes de transfert des particules fines.

En Méditerranée, une des caractéristiques qui résulte des conditions hydrodynamiques est la présence d'envasements précoces ou « prodeltas » face à tous les émissaires continentaux. La plupart des pollutions d'origine anthropique dépend des processus de formation de ces systèmes.

SUMMARY

Littoral transfers in the Mediterranean Sea

The study of a marine ecosystem which requires a multidisciplinary approach is attempted, modelling being the ultimate aim.

The present paper summarises previous works carried out in the near-shore areas of the Gulf of Lion and describes the dynamics of littoral sands and the mechanisms of transfer of fine particles.

In the Mediterranean, characteristic features resulting from hydrodynamic conditions are the « prodeltas» or mud blanket which develop off river mouths and all continental output. Most of the anthropogenic pollution on the processes under which these systems are formed.

INTRODUCTION

Tant du point de vue fondamental qu'appliqué, deux processus dynamiques sont à distinguer sur les littoraux et domaines margino-littoraux en Méditerranée : le transfert de matériaux non cohésifs et celui des particules fines lithogènes ou biogènes. Ces processus sont déterminants dans l'évolution des biocoenoses et les cycles biogéochimiques.

Ces problèmes ont longtemps été traités par les sédimentologistes sous l'aspect qualitatif à partir de la résultante plurimillénaire ; ces dernières années, l'aspect quantitatif a été abordé par des recherches en temps réel menées par des équipes pluridisciplinaires pour parvenir à la modélisation.

Cette approche est indispensable pour comprendre et prévoir les effets des actions anthropiques.

MÉTHODES

Matériaux non cohésifs

Diverses méthodes ont été utilisées pour reconstituer ou suivre la dynamique des sables qui forment le rivage et le domaine infralittoral : les minéraux lourds et les propriétés de thermoluminescence des quartz, la radiométrie ^{14}C des coquilles associées à ces dépôts, la radioactivité, le marquage par des radioéléments artificiels.

D'autres études ont été basées sur la morphologie des littoraux et son évolution dans le temps

On est ainsi parvenu à retracer l'histoire du mouvement eustatique de la mer jusqu'à une époque récente, à reconstituer les aires d'influence des diverses sources d'apports et donc les mécanismes de dispersion des produits continentaux.

A une échelle de temps et d'espace plus réduite on a suivi et quantifié le débit massique des sables dans des conditions atmosphériques et hydrodynamiques données.

Particules fines

Le dépôt des particules fines (pelites $\ll 40\ \mu m$) résulte de mécanismes physiques, physico-chimiques et biologiques complexes. Diverses approches peuvent être utilisées pour les reconstituer : composition globale, minéralogie des argiles, microstructure, géochimie minérale (comportement des éléments métalliques) et organique (C. total, C. organique, N, acides humiques et fulviques...) ; les produits minéraux et organiques anthropiques servent de traceurs : Cd, Zn, Pb, Cu, Hg, radionucléides, hydrocarbures.

On détermine ainsi l'origine et la dispersion des produits fins, les taux de sédimentation, les phénomènes de prédiagenèse et diagenèse liés notamment à l'activité biologique à l'interface sédiment-eau.

Plus globalement, les techniques indirectes d'investigation géophysique (sismique réflexion haute résolution) permettent de reconnaître les zones préférentielles de sédimentation, la géométrie et la puissance des corps sédimentaires qui, dans le domaine littoral, sont liés à un émissaire. On suit ainsi, par exemple, la divagation des cours d'eau à l'échelle géologique ou historique.

L'étude en temps réel des particules en suspension nécessite une autre approche et d'autres techniques :

— in situ : structures turbides par transmissométrie ou néphélométrie, paramètres physico-chimiques et chimiques de l'eau, courantométrie, prélèvements par bouteilles, pompes et pièges à sédiment, suivi sur stations ;

— en laboratoire : analyses minéralogiques, chimiques et microchimiques, microscopiques (MEB, MET) (1) ; de la même manière que pour les sédiments, les produits naturels et artificiels, stables et radioactifs, sont utilisés comme traceurs dynamiques.

Les recherches les plus récentes permettent d'évaluer les flux de masse lithogène et biogène, les mécanismes de transfert (advectif ou vertical), leur variabilité spatiale et saisonnière en relation avec les conditions météorologiques et hydrodynamiques ainsi qu'avec la production *in situ*. Les données sont confrontées à celles fournies par le suivi saisonnier de l'activité biologique et biogéochimique à l'interface sédimentaire.

TRANSFERTS DES MATÉRIAUX MEUBLES

La configuration actuelle du rivage de la Méditerranée nord-occidentale a été acquise au cours d'une période de stabilité de la mer depuis environ 4.000 ans. A cette échelle et pour les côtes basses (delta du Rhône, Roussillon, delta de l'Ebre..) les réajustements tectoniques sont peu perceptibles. L'évolution récente (étangs littoraux, divagation des cours d'eau, construction du lido) est soumise au volume des apports continentaux et aux conditions hydrodynamiques générales ou locales.

Au cours des derniers 18.000 ans la remontée eustatique a laissé de nombreux témoins littoraux sur le plateau continental, certains à l'affleurement. Ainsi en bordure de la plateforme, entre 80 et 100 m, gisent de vastes étendues de sables moyens à fins qui paraissent stables à ces profondeurs. Leur âge est d'environ 15.000 ans. Des sables reliques, datant de 10.000 à 8.000 ans, occupent également le domaine infralittoral, par 20 à 30 m de profondeur, sous forme de bancs parallèles au littoral actuel. Des thanatocoenoses y sont associées, il est évident que ces faciès sableux, à des bathymétries peu communes pour la Méditerranée, constituent des biotopes particuliers (MONACO, 1983 ; ALOISI *et al.*, 1978).

Un des exemples les plus significatifs des relations entre héritage géologique et écologie est fourni par les bancs rocheux infralittoraux. Témoins d'âges varié de formations littorales associées aux variations eustatiques, ils constituent des substrats privilégiés pour la faune et la flore ; ils sont utilisés de nos jours pour l'implantation des récifs artificiels en Languedoc-Roussillon.

(1) MEB Microscope électronique à balayage
MET Microscopie électronique à transmission

Si ces formations meubles résiduelles sont peu ou pas affectées par les courants de houle, le littoral actuel, entre 0 et 20 m subit divers effets : transport par jets de rive, «long shore current», «rip current», courants de retour. Malgré une très grande variabilité spatio-temporelle on a reconnu, à partir de diverses méthodes et à l'échelle du Golfe du Lion, deux sens de transit : l'un d'Est en Ouest depuis l'embouchure du Rhône, jusqu'à Agde, l'autre du Sud vers le Nord, c'est-à-dire de la terminaison orientale des Pyrénées jusqu'à l'Aude ; ce dernier secteur constitue un point neutre où le transfert est perpendiculaire à la côte

La nature des sables et leurs propriétés naturelles (thermoluminescence, radioactivité) confirment ce fonctionnement et distinguent la province rhodanienne de la province pyrénéenne (ALOISI et CHARLET, 1975).

La dérive littorale dans les conditions de stabilité du niveau marin a peu à peu édifié, à partir des alluvions, une bande sableuse qui, par effet de tombolo, entre les divers caps rocheux (Agde, Sète, Leucate), a pratiquement isolé les lagunes. L'évolution de ces plans d'eau, hormis les aménagements anthropiques (ouvertures des graus, dragages), dépend d'une double composante : transfert littoral de sable (sens et débit) et apport terrigène à l'étang par le colluvionnement et les cours d'eau. Ce double mécanisme contrôle par ailleurs le degré de confinement et partant tous les processus biogéochimiques (BERNAT *et al.*, 1984).

Indépendamment d'un relèvement éventuel du niveau marin, l'érosion littorale que l'on constate en divers points du Golfe du Lion a d'abord pour cause l'aménagement des fleuves et l'exploitation des matériaux meubles.

Si l'équilibre et la configuration générale actuels sont l'héritage de processus à long terme commencés avec la période de stabilité eustatique et climatique, les variations atmosphériques et géographiques locales induisent des processus dynamiques d'ordre impulsionnel

Des expériences de traceurs radioactifs par marquage de matériaux meubles et suivi de la radioactivité ont été menées sur le littoral du Roussillon. Elles révèlent que la composante générale S — ► N précédemment définie à partir des propriétés résultantes des matériaux intègre en fait un double transfert : l'un vers le Sud ou Sud Est sous l'effet des vents du Nord (tramontane), l'autre dominant vers le Nord par vents de secteur Est à Sud Est. A partir d'une méthode d'évaluation quantitative mise au point avec le CEA (département des radioéléments), le premier a été estimé à près d'1 tonne, le second à 1,5 tonne par jour et mètre linéaire. La variabilité est d'ordre journalier (COURTOIS et MONACO, 1968).

TRANSFERT DES PARTICULES FINES

Faciès pélitiques et implications dynamiques

La Méditerranée a souvent été considérée comme une vasière uniforme résultant d'une pluie de particules fines et commençant avec la limite théorique de l'étage circalittoral.

Les relevés de sismique réflexion haute résolution révèlent que les dépôts pélitiques ont des puissances, des caractères lithoacoustiques et des géométries variés. L'unité fondamentale est un prisme dont la hauteur peut atteindre, devant le Rhône, une quarantaine de mètres. Dans l'espace, cette unité prend la forme d'un lobe ou éventail développé à partir d'un point source qui est le fleuve ou la rivière côtière. La vasière méditerranéenne apparaît donc discontinue (ALOISI *et al.*, 1977).

Si l'on considère la variation latérale de faciès depuis les

sables littoraux jusqu'aux vases circalittorales, le pourcentage croissant de la fraction pélitique (fraction inférieure à 0,040 mm) n'est pas régulier. Devant une côte rectiligne sableuse le taux de pelites augmente de 70 % vers 30 à 40 m de profondeur, ce qui reflète le gradient des vitesses orbitales au fond. Devant un émissaire, le gradient d'envasement reste identique mais est déplacé vers la côte et la source continentale autour de 20 m de profondeur. Cet envasement précoce qui prend place au niveau du talus du prisme sédimentaire est le prodelta (MONACO, 1975 ; ALOISI et MONACO, 1975).

Cette remontée des vases vers l'étage infralittoral prend une forme concentrique. Pour une rivière côtière comme l'Aude (Languedoc) dont le débit moyen varie de 50 à 400 m^3/s le prodelta occupe une superficie d'environ 10 km^2 ; il concentre des particules de très petite taille à propriété adsorbante tant minérales (smectite) qu'organiques. Cette sédimentation précoce à laquelle sont liées des caractéristiques mécaniques particulières (forte teneur en eau, thixotropie) obéit à des mécanismes physico-chimiques plus que dynamiques ; elle dépendrait de phénomènes de floculation électro-chimique et organo-minérale (ALOISI *et al.*, 1975).

La «vasière» méditerranéenne n'est donc pas uniforme mais intègre une série d'unités, prismes et prodeltas, associés à chaque émissaire naturel ou artificiel, permanent ou temporaire. Chaque unité doit probablement constituer une niche écologique particulière

La reconstitution des processus de dispersion du matériel fin est basée sur l'utilisation de traceurs naturels (argile) mais aussi de produits anthropiques : hydrocarbures, PCB, métaux lourds, radionucléides. Le 137 Cs rejeté par l'usine de Marcoule a fourni un marqueur spécifique qui a été analysé dans les vases formant le plateau continental rhodanien. Il apparaît clairement que les alluvions fines du Rhône sédimentent rapidement dans ce prodelta et sont entraînées vers l'Ouest dans le sens de la dérive générale. Le radioélément est encore détectable (1p Ci/g) à 10 milles de l'embouchure (ALOISI *et al.*, 1976)

La mesure du 137 Cs dans l'épaisseur du dépôt a permis de connaître les lois de dispersion de la matière particulaire. La décroissance de la profondeur d'enfouissement (H) en fonction de la distance à l'embouchure (d), est de forme exponentielle : $H(d) = Ho\ e^{-Ad}$ (Ho = constante à l'origine; A = constante de décroissance) (FERNANDEZ, 1984).

MODÈLE DE DISPERSION MULTICOUCHE

Des mesures en temps réel (transmissométrie, paramètres physiques et physico-chimiques, courantométrie, charge solide) effectuées en divers secteurs du plateau continental et plus spécifiquement face aux embouchures du Rhône et des rivières côtières nous ont amenés à élaborer un modèle de transfert multicouche (ALOISI *et al.*, 1979, 1982).

Dans la zone littorale sous influence d'une source continentale on observe la structure stratifiée ; pour le Rhône, en période de débit faible (1.000 à 2.000 m^3/s) et en présence de thermocline on note :

— une couche turbide superficielle liée à la plume dessalée ; la charge solide décroît depuis l'embouchure (17 mg/l) jusqu'au large (0,5 mg/l) avec une moyenne de l'ordre de 1 mg/l),

— des couches intermédiaires, épaisses de quelques mètres, présentes à des immersions où le gradient vertical de densité est marqué,

— une couche néphéloïde au contact du fond, de puissance décroissante vers le large (20 à 1 m) et ayant une charge de l'ordre de 5 mg/l.

Du point de vue hydrologique, la circulation générale est dominée par les effets de vents violents de secteur Nord-Ouest et par la présence du courant ligure-provençal. Les vitesses près de la surface sont plus élevées que les vitesses au fond mais le gradient vertical évolue en fonction de la stratification. En été la thermocline est un véritable écran pour le transfert en profondeur de la quantité de mouvement

Dans la couche de mélange superficielle les vitesses moyennes atteignent 25 cm/s ; dans la couche profonde elles restent inférieures à 10 cm/s. Des déplacements virtuels des particules vers le Sud-Ouest ont été calculés ; ils sont de l'ordre de 1,5 km/jour.

Les panaches turbides littoraux révélés par l'image satellitaire à certains points de la côte par forts vents du Nord-Ouest peuvent avoir pour origine une destructuration de la thermocline et du néphéloïde benthique.

En ce qui concerne la nature et la structure des suspensions elle obéit également à la stratification. La suspension de surface est constituée par des structures complexes ; la phase phytoplanctonique joue un rôle primordial dans l'agglomération mais la production de fecès y est également observée. Près du fond, la phase organique est représentée par des diatomées, des débris d'algues unicellulaires et du nannoplancton ; la phase lithogène est essentiellement aluminosilicatée

Ce mécanisme de transfert oriente le comportement des éléments liés à la phase particulaire. Ainsi la distribution de Pb, Zn, Cu et Cd simule un système bicouche, les couches turbides superficielles et profondes étant les plus riches en métaux surtout dans le domaine prodeltaïque.

Le carbone organique particulaire croît vers le large dans la couche de surface (0,5 à 2,2 %) en relation avec la productivité marine. Mais des taux de 4 à 7 % sont atteints dans le néphéloïde benthique au niveau du prodelta

Tous ces résultats attestent l'intervention de phénomènes de floculation électrochimique ou organo-minérale qui en accélérant la vitesse de chute des particules entraînent une sédimentation précoce du matériel organo-minéral. Ils sont à l'origine de l'unité prodeltaïque qui constitue un trait spécifique du domaine méditerranéen. Son rôle écologique mériterait d'être abordé

Une autre donnée concerne le rôle important joué par la phase biogène tant du point de vue du comportement physique du matériel particulaire (aggrégation, excrétion, dégradation) que du point de vue chimique.

Enfin les mesures en temps réel, montrent l'importance du transfert advectif pratiquement depuis les points sources littoraux. Il s'y ajoute un transfert par reprise sédimentaire. Ces deux mécanismes sont déterminants pour l'écosystème littoral et profond.

Des expériences récentes utilisant des pièges à particules séquentiels et comportant un suivi saisonnier ont permis de quantifier ces flux qui atteignent 20 à 30 $g.m^{-2}/^{1}$ jusqu'à 600 m de profondeur. Elles confirment l'importance des interactions entre matériel inerte et vivant et font apparaître la nette dépendance de l'activité benthique de la variation saisonnière de l'apport de matière et d'énergie (GUIDI *et al.*, 1985).

CONCLUSION

L'étude des transferts de matière est primordiale pour la compréhension des écosystèmes littoraux et marguno-littoraux (lagunes). Diverses applications en dépendent : aménagement et constructions d'ouvrages, valorisation, pollution.

Par exemple, l'implantation de récifs artificiels s'effectue dans des domaines sensibles à la fois à la dynamique littorale, mais également à l'apport de particules fines. Il est essentiel alors de connaître les sources de ce matériel, sa nature, les mécanismes de transfert et d'en quantifier les flux saisonniers. L'impact écologique de l'ouvrage va être déterminé par ces paramètres ; son évolution à moyen et long terme dépendra du contexte hydrosédimentaire voire géologique. C'est pourquoi nous préconisons des actions pluridisciplinaires sur des entités ou des systèmes modélisables. Un programme d'étude sur l'ECOsystème des MARGES continentales (ECOMARGES) a été développé dans ce sens Commencé sur le Golfe du Lion, il sera étendu à d'autres types de marges dans le cadre d'un programme européen (EURECOMARGE) fédérant des équipes espagnoles, italiennes, grecques et françaises.

BIBLIOGRAPHIE

ALOISI (J C.) & CHARLET (J.M), 1975. — Intérêt de la thermoluminescence dans l'étude de l'alimentation en quartz du Golfe du Lion. *Rev. Geogr. Phys. et Geol. Dynam*, 2, XXXII, 2, 145-162.

ALOISI (J.C.) & MONACO (A), 1975. — La sédimentation infralittorale. Les prodeltas nord-méditerranéens. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 280, 2833-2836.

ALOISI (J C.), MONACO (A.) & PAUC (H), 1975. — Mécanisme de la formation des prodeltas dans le Golfe du Lion. Exemple de l'embouchure de l'Aude. *Bull. Inst. Geol. Bass. Aquitaine*, 18, 3-12

ALOISI (J.C.), CAUWET (G), GADEL (F.), GOT (H), MONACO (A), VILE (F), CAUSSE (C.) & PAGNON (M.), 1976. — Contribution à l'étude de la sédimentation récente et de la pollution sur le plateau continental du Golfe du Lion entre Fos-sur-Mer et Sète. *Bull. B.R.G.M* , IV, 2, 69-83.

ALOISI (J.C.), AUFFRET (G A), AUFFRET (J P), BARUSSEAU (J P.), HOMMERIL (P.), LARSONNEUR (C.), MONACO (A.), 1977. — Essai de modélisation de la sédimentation actuelle sur les plateaux continentaux français. *Bull. Soc. Geol France*, 7, XIX, 183-195.

ALOISI (J C), MONACO (A.), PLANCHAIS (N), THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1978. — The Holocene transgression in the Golfe du Lion, South-Western France : paleogeographic and paleobotanical evolution. *Geogr Phys. quat*, XXXII, 2, 145-162.

ALOISI (J.C.), MILLOT (C), MONACO (A.) & PAUC (H.), 1979. — Dynamique des suspensions et mécanismes sédimento-génétiques sur le plateau continental du Golfe du Lion. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 289, 879-882.

ALOISI (J.C.), CAMBON (J.P.), CARBONNE (J.), CAUWET (G.), MILLOT (C.), MONACO (A) & PAUC (H), 1982. — Origine et rôle du néphéloide profond dans le transfert des particules au milieu marin. Application au Golfe du Lion *Oceanologica Acta*, 5, 4, 481-491.

BERNAT (M.), CAUWET (G), CHASSEFIERE (B.), FAGUET (D.), GADEL (F.), MONACO (A.), OUAKAD (M) & THOMMERET (Y.), 1984. — Behaviour of metallic and radioactive elements in lagoonal sediments : the example of the Canet-St Nazaire Pond. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 18, 557-570.

COURTOIS (G.) & MONACO (A.), 1968. — Radioactive methods for the quantitative determination of coastal drift rate. *Marine Geology*, 7, 187-206.

FERNANDEZ (J.M.), 1984. — Utilisation de quelques éléments métalliques pour la reconstitution des mécanismes sédimentaires en Mediterranée occidentale . apport du traitement statistique. *Thèse de spécialité*, Univ. de Perpignan, 233 pp.

MONACO (A.), 1973. — The Roussillon continental margin (Gulf of Lion) : Plio-Quaternary paleogeographic interpretation. *Sedimentary Geology*, 10, 261-284.

MONACO (A.), 1975 — Les facteurs de la sédimentation marine argileuse. Les phénomènes physico-chimiques à l'interface. *Bull B.R.G.M.*, IV, 3, 1-29.

Bull. Ecol., t. 18, 2, 1987, p. 229-241

SEDIMENTI E BIOCENOSI BENTONICHE TRA LA FOCE DEL PO ED IL GOLFO DI TRIESTE (Alto Adriatico)

par Giuliano OREL(1), Ruggero MAROCCO (2), Ennio VIO(1), Donatella DEL PIERO(1), Giovanni DELLA SETA(3)

KEY-WORDS : Northern Adriatic - Biocoenoses - Sediments - Trophic modalities.

RIASSUNTO

Viene presentata una serie di dati, riguardanti i popolamenti bentonici dell'Alto Adriatico, e raccolti tra il 1967 e il 1984 tra la foce del Po e P.ta Sdobba. Vengono utilizzati anche altri dati, in parte già pubblicati inerenti il Golfo di Trieste e la Baia di Muggia. Tali dati vengono discussi in relazione a precedenti indagini (VATOVA, 1949) e ai risultati di ricerche sedimentologiche più recenti (BRAMBATI e AL., 1983). Sono messe in evidenza alcune relazioni tra le caratteristiche sedimentologiche dei fondali e la struttura delle biocenosi bentoniche ed illustrati alcuni casi particolari di alterazione del tipo e del ritmo di sedimentazione e le risposte della fauna bentonica all'azione di questo fattore

SUMMARY

Sediments and benthic biocoenoses between Po river delta and the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea)

A set of data of benthic population of the Northern Adriatic Sea, collected from 1967 to 1984 between Po river delta and P. ta Sdobba is presented. Other data, partly published on the Gulf of Trieste and the Muggia Bay, are used too. These data are compared to previous studies (VATOVA, 1949) and to the results of recent sedimentological researches (BRAMBATI et Al., 1983). Some connections between the bottom sedimentological characteristics and the structure of the benthic biocoenoses are pointed out and some particular cases of changes of type and rhythm of sedimentation and the benthic fauna responses to this factor are presented.

INTRODUZIONE

I dati di benthos utilizzati in questo lavoro sono relativi a campioni raccolti con draga Charcot o benna van Veen nel corso di sei crociere effettuate tra il 1967 e il 1984 nell'Alto Adriatico a nord del parallelo di Porto Garibaldi (Fig. 1). Verranno brevemente prese in considerazione anche ricerche effettuate nello stesso intervallo di tempo nel Golfo di Trieste e nella Baia di Muggia. I riferimenti sedimentologici provengono da lavori effettuati all'incirca nello stesso periodo presso l'Istituto di Geologia e Paleontologia dell'Università di Trieste e sono tratti dai dati utilizzati per la stesura di una recente carta sedimentologica tessiturale dell'Adriatico (BRAMBATI e. Al., 1983). Le caratteristiche dei fondali del Golfo di Venezia e di Trieste devono essere messe in relazione alle vicende del bacino adriatico durante il postwürmiano ed agli apporti dei principali fiumi nordadriatici : Isonzo, Tagliamento, Piave, Adige, Po e Reno. Il trasporto, la sedimentazione e l'eventuale rimobilizzazione di questi materiali sono poi regolati dal moto ondoso e dalle correnti. I contributi sedimentari attuali dei fiumi friulani e veneti vengono dispersi prevalentemente verso sud-ovest, quelli dell'Adige e del Po, il cui apporto (20×10^6 tonn./anno) è costituito per il 77 % da materiali fini (NELSON, 1970) si distribuiscono prevalentemente verso sud (COLANTONI e Al., 1985). Ne consegue che nell'area studiata i tipi sedimentari si distribuiscono grosso modo parallelamente alla costa, salvo che nella zona centrale dove particolari condizioni permettono in tempi e luoghi diversi alternanze di deposizioni sabbiose e di materiali fini che un ramo di acqua padana distribuisce verso nord-est. Dalla costa verso il largo i fondali presentano perciò la seguente successione : sabbie costiere, una breve zona di transizione, una fascia di sedimenti pelitici, una zona di transizione più ampia della precedente, una zona di sabbie continentali-litorali rimaneggiate dalle correnti e dal moto ondoso ed infine la zona centrale con sedimenti pelitici molto sabbiosi. La fascia a sabbie del largo si sviluppa tra P.ta Sdobba e Chioggia tra i 10 metri (nella parte più settentrionale) e i 25 metri di profondità, presenta tratti più o meno ampi di intrecci di rizomi di antiche praterie di *Posidonia*, oggi quasi completamente degradate e piccole aree (da qualche metro a qualche migliaio di metri quadri) di fondo duro derivato dalla cementazione e dal concrezionamento locale di materiali incoerenti ad opera di cementi inorganici o per attività organiche (STEFANON, 1976, 1979 ; COLANTONI e Al., 1985). I fondi a sabbie e sabbie pelitiche del largo sono spesso movimentati da avvallamenti e dossi dalla forma addolcita, con direzione NE-SW, attribuiti all'azione di forti mareggiate (sand-waves) (NEWTON e STEFANON, 1982).

(1) Dipartimento di Biologia, via Valerio 32, Trieste

(2) Istituto di Geologia e Paleontologia, P le Europa 1, Trieste

(3) Laboratorio Centrale di Idrobiologia, V le Carnaggio 107, Roma

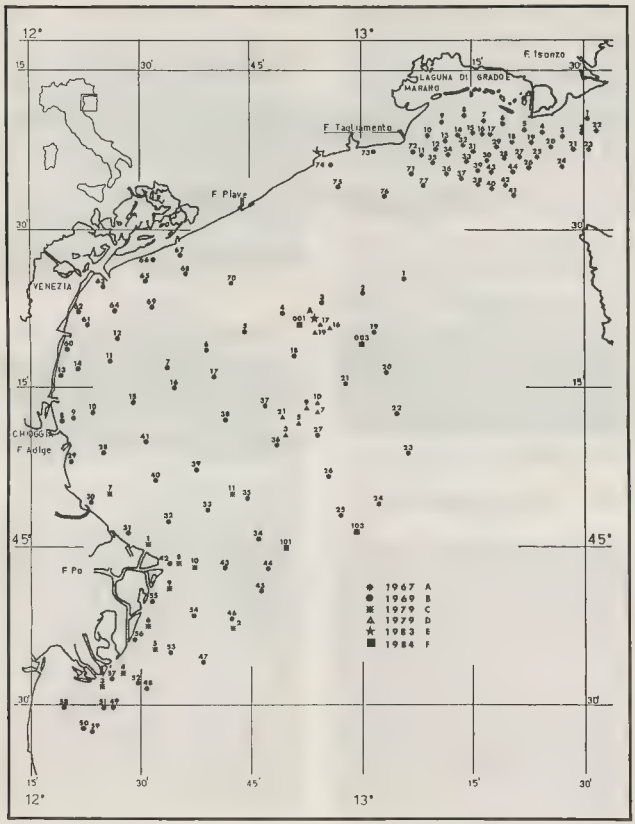


FIG. 1. — Stazioni di raccolta di campioni di benthos in crociere effettuate tra il 1967 ed il 1984 nell'Alto Adriatico.

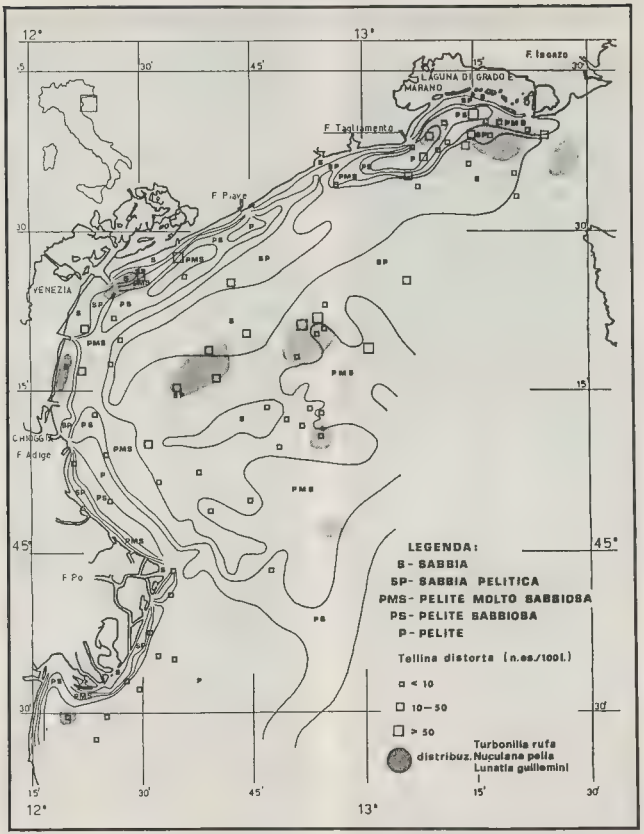


FIG. 2 - Distribuzione di *Tellina distorta*, *Turbonilla rufa*, *Nuculana pella* e *Lunatia guillemini*, specie indicatrici di instabilità del ritmo sedimentario nell'area studiata.

SEDIMENTI, BIOCENOSI BENTONICHE E MODALITA' TROFICHE

La distribuzione delle biocenosi bentoniche è in stretta dipendenza dalla fisionomia sedimentaria suaccennata e, almeno per la zona antistante la laguna veneta e a più ampie linee per la restante parte dell'Adriatico Settentrionale, è stata delineata da VATOVA (1949). Egli descrive per la zona cinque zoocenosi : *Chione gallina* ± *Owenia* (*Ch. g.* ± *Ow.*) per le sabbie antistanti i lidi veneti, *Schizaster chiajei* (*Sch. ch.*) davanti alla foce del Po e sui fondali della parte nordorientale dell'Alto Adriatico, *Amphioxus* (*Amph.*) sulle sabbie al largo, *Tellina* (*Tl.*) in una fascia a sud di queste ultime e *Turritella* (*T.*) ancora più a sud, più o meno nella zona di distribuzione delle peliti padane. Alcune di queste zoocenosi sono facilmente riconducibili alle biocenosi descritte per il Mediterraneo da PERES e PICARD (1964) e dalla scuola di Endoume. C'è da dire a questo riguardo che il metodo di definizione delle biocenosi utilizzato da Vatova e quello di Endoume sono sostanzialmente differenti : l'uno, quantitativo, si basa generalmente sulle specie più abbondanti in peso o in numero ; l'altro, qualitativo, utilizza la presenza di specie caratteristiche, cioè di specie a nicchia ecologica particolare. Ciò nonostante nell'Adriatico Settentrionale, in alcuni casi, i due metodi portano agli stessi risultati, cioè alla definizione della medesima unità di popolamento. Ciò si verifica quando le specie più rappresentative in peso e in numero, utilizzate da Vatova, corrispondono alle specie caratteristiche definite da Peres e Picard. Per questo motivo si può dire che la zoocenosi *Ch. g.* corrisponde alla biocenosi delle Sabbie Fini Ben Calibrate (SFBC), la zoocenosi *Amph.* alle Sabbie Grossolane soggette a Correnti di Fondo (SGCF) e la zoocenosi *T.* alla biocenosi dei Fanghi Terrigeni Costieri (VTC). Per altre unità di popolamento di Vatova le corrispondenze non appaiono così immediate. Infatti, se la zoocenosi *Sch. ch.* della foce del Po e la sua facies *Sch. ch.* ± *Ow.* al largo della laguna veneta, e *Sch. T.* (*Schizaster - Turritella*), del Canale di Leme, in Istria, possono essere omologate alla biocenosi dei Fanghi Terrigeni Costieri, la stessa zoocenosi descritta da Vatova per il Golfo di Rovigno (1935) e per il Golfo di Trieste (1949) non consente un accostamento tanto agevole in quanto tra le specie inventariate alcune sono attribuibili ai VTC, altre ai fondi Fangoso-Detritici (DE), altre ancora al Detritico Costiero (DC). Tali affinità per la biocenosi dei fondi Detritici Costieri appaiono ancora più accentuate nella zoocenosi *Tellina Ca* (caratterizzata da *Tellina distorta*) per la presenza di *Tellina donacina, Ophiura grubei, Ophiura albida, Microcosmus vulgaris*, ma rimangono ancora evidenti alcuni caratteri dei fondi fangosi (*Labidoplax digitata*) o fangoso detritici (*Ophiothrix quinquemaculata*). Tuttavia tralasciando i problemi di metodo, almeno per la parte centrale della zona studiata in questo lavoro, è corrispondente alla giustappposizione delle zoocenosi *Tl., Sch. ch.* e *T.*, l'attribuzione all'una o all'altra unità di popolamento è complicata dal fatto che questi fondali sono soggetti a variazioni spaziali e temporali del tipo e del ritmo di sedimentazione, fatto per altro messo in evidenza dalla carta sedimentologica che suggerisce per la zona condizioni idrodinamiche volta a volta favorevoli al trasporto in sospensione (Peliti) o per saltazione e rotolamento (Sabbie). Il fatto è inoltre sottolineato dalla presenza costante di un buon numero di esemplari di *Tellina distorta* specie considerata indicatrice di instabilità del ritmo sedimentario (Fig. 2). C'è da dire inoltre che la difficoltà di inquadramento bionomico di questa zona viene accentuata da una intensa attività di pesca a strascico, da ricorrenti spostamenti di dumping di materiali terrosi fini, residui di diverse lavorazioni industriali. A quest'ultimo proposito si è visto che, nelle zone più direttamente interessate dalle discariche, i popolamenti accentuano la loro affinità per i VTC con una riduzione del numero di specie pertinenti ad altri popolamenti e sviluppando una facies a *Sternaspis scutata* e *Nephthys hystricis*, che caratterizza spesso zone di foce fluviale o lagunare nell'Adriatico e nel Mediterraneo Occidentale. Anche sulla base delle elaborazioni presentate in questo lavoro, i fondali più facilmente inquadrabili da un punto di vista bionomico appaiono quelli caratterizzati da tipi sedimentari puri. Un primo inquadramento è stato ottenuto calcolando l'affinità di ciascuna delle 144 stazioni studiate per le quattro biocenosi meglio rappresentate nella zona (SFBC, VTC, DC e SGFCF) secondo il metodo di PERES e PICARD (1964) leggermente modificato (*). Per alcunes stazioni (1, 2, 4, 7, 8, 9, 11, 13, 15, 16, 18, 21, 31, 55, 57, 61, 70 del 1969) l'affinità è stata calcolata non su tutto lo stock di specie caratteristiche, ma soltanto sui Molluschi. Per la zona in esame, questa procedura porta in generale ad una leggera sovrastima delle affinità per i DC e ad una sottostima di quelle per i VTC, ma ai fini di una attribuzione bionomica per grandi linee il metodo appare accettabile (Tab. 1a, b, c). I risultati così ottenuti sono riportati in Fig. 3 per la cui lettura è da tener presente che la biocenosi SFBC occupa tutta la fascia costiera della zona studiata fino ad almeno 5 m di profondità e ch la delimitazione della biocenosi SGCF è fatta soltanto in base alle stazioni di raccolta di *Branchiostoma lanceolatum* (Fig. 4). Perciò, viste le caratteristiche simili del substrato che ospita le biocenosi SGCF e DC della zona, alcune delle stesse stazioni di raccolta dell'Anfioso e parte dei fondali limitrofi non studiati, tra P ta Tagliamento e Chioggia, debbono essere attribuiti alla seconda di queste due biocenosi. La distribuzione di *Branchiostoma* in questa zona offre peraltro un ottimo esempio della stretta dipendenza degli organismi bentonici e delle biocenosi dalle caratteristiche fisiche del substrato. Si è visto infatti (ROSSI e OREL, 1968) che condizione necessaria alla presenza di questo organismo è che il sedimento abbia un contenuto in sabbia superiore al 94 %. Tale condizione non è però sufficiente : in molte altre stazioni a substrato con contenuto sabbioso adeguato la specie era assente, ovvio segno dell'esigenza di una più ampia gamma di condizioni ambientali che non necessariamente si realizzano in tutti i substrati sabbiosi (correnti di fondo, rapporto tra componente carbonatica e componente silicea e quindi grado di arrotondamento dei granuli, ricchezza della fauna interstiziale, ecc.). La Fig. 3 illustra bene inoltre il fatto che nella parte centrale dell'area studiata, caratterizzata da instabilità del tipo e del ritmo di sedimentazione, l'embricazione tra VTC e DC (non sembra ben riconoscibile nella zona uno stock di caratteristiche del Detritico Fangoso) è tale da non consentire di tracciare confini precisi tra le due unità. Sembra tuttavia che questa sovrapposizione sia particolarmente accentuata sulle peliti molto sabbiose (30-70 % di sabbia), mentre le peliti sabbiose (5-30 % di sabbia) sono occupate esclusivamente dalla biocenosi dei VTC ed il fatto è ben rappresentato dalla distribuzione delle caratteristiche DC *Abra prismatica* e *Pitar rudis* e delle caratteristiche VTC *Sternaspis scutata, Nephthys hystricis* e *Ampharete grubei*. I fondi fangosi del largo hanno inoltre un peculiare popolamento ; ad una analisi dei clusters (LAGONEGRO e FEOLI, 1984) infatti vengono isolati dai bionomicamente omologhi fondi Fangosi Costieri. Questa analisi è stata effettuata sulla base di una tabella di presenza-assenza di 112 specie di Molluschi raccolte nelle 144 stazioni studiate. La matrice di somiglianza ottenuta da essa, utilizzando l'indice di Jaccard, è stata trattata secondo il metodo del legame completo ed ha fornito sei raggruppamenti principali di stazioni e quattro più piccoli. La distribuzione delle stazioni tra i diversi clusters è riportata in Fig. 5, dove le nove stazioni pertinenti ai quattro clusters più piccoli sono rappresentate da un unico simbolo. Le 50 stazioni comprese nel primo

* Le modifiche al metodo citato sono consistite nell'utilizzare per il calcolo delle affinità non solo le caratteristiche esclusive, ma anche le preferenziali ed alcune specie subordinate e peculiari, elevate rispettivamente al rango di preferenziali SFBC e preferenziali VTC

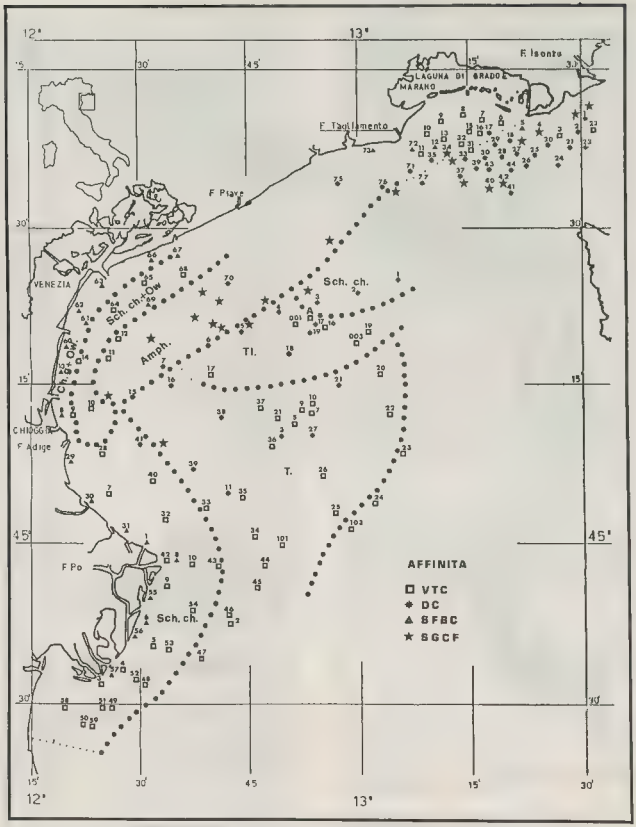


FIG 3 — Affinità delle stazioni studiate (PERES e PICARD, 1964) per le principali unità di popolamento dei fondali dell'Alto Adriatico. Le linee punteggiate indicano i limiti delle zoocenosi di Vatova.

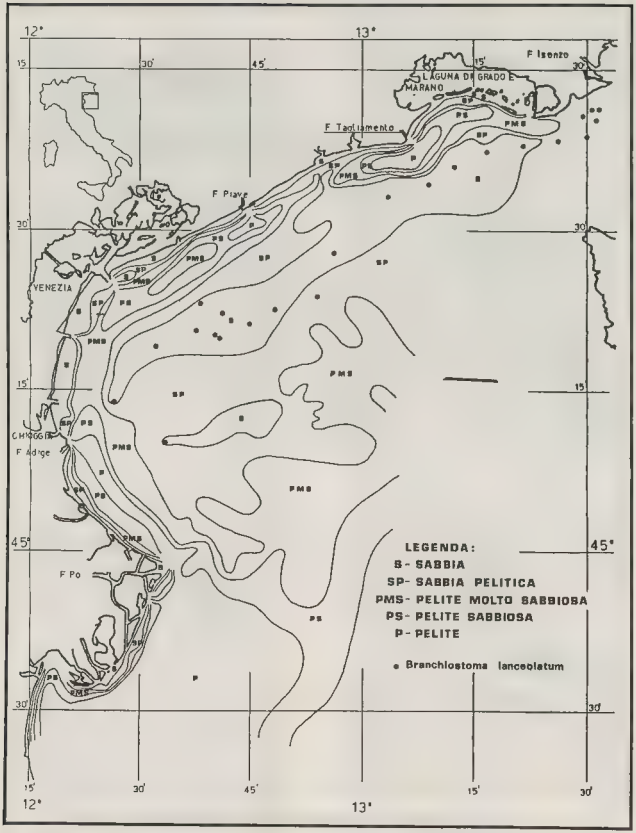


FIG. 4. — Distribuzione di *Branchiostoma lanceolatum* nella zona studiata.

gruppo coprono bene l'area pertinente alla biocenosi dei VTC che occupa i fondi pelitici che bordano la costa (1) Parte delle altre stazioni attribuite ai VTC sulla base dei calcoli di affinità sono raggruppate invece nel cluster 5 e, come si è già detto, si distinguono da quelle del primo cluster per l'assenza o per la rarefazione di alcune specie di Molluschi (*Venerupis aurea, Tellina serrata, Acanthocardia paucicostata*). Il secondo cluster (2) comprende esclusivamente stazioni poste sui fondi al largo delle lagune di Grado e di Marano, occupati per gran parte da una moquette di rizomi subfossili di *Posidonia*, a substrato sabbioso-detritico. Come si è detto, questo tipo di fondo, pur presente più a sud lungo la zona di distribuzione di *Branchiostoma*, è stato solo marginalmente esplorato. Il terzo raggruppamento (3) raccoglie le stazioni della parte centrale del Golfo di Venezia, le cui caratteristiche sono state già discusse, e comprende 40 stazioni, 20 assegnate per affinità alla biocenosi del Detritico Costiero e 20 poste nella zona a sedimentazione mista e già assegnata alla biocenosi dei Fanghi Terrigeni Costieri. Il quarto gruppo (4) comprende 12 stazioni assegnate alle Sabbie Fini Ben Calibrate (SFBC) ; il sesto gruppo (6) quasi esclusivamente stazioni dei fondi antistanti le lagune di Grado e Marano, assegnate alla biocenosi dei fondi Detritici Costieri, ma in cui viene risentita l'influenza delle vicine zone a Fanghi Terrigeni. Come si vede la corrispondenza tra i clusters ed i gruppi di stazioni ottenuti in base alle affinità, è molto soddisfacente se si tiene conto che l'analisi multivariata individua anche gruppi riconducibili ad aspetti particolari di una stessa biocenosi.

Inoltre i sei gruppi si differenziano tra loro in maniera altamente significativa per la profondità e la distanza dalla costa delle stazioni che comprendono ($F = 81.45 - 5$ e 129 g.l. e $p \ll 0.01$ per le profondità ; $F = 56.68 - 5$ e 129 g.l. e $p \ll 0.01$ per le distanze dalla costa). Questi due parametri, spesso correlati in quanto generalmente la profondità aumenta con la distanza dalla costa, possono essere ricondotti ai processi fondamentali che regolano l'instaurarsi e l'evolversi delle biocenosi : quantità di energia disponibile ad un determinato livello batimetrico e perciò entità della produzione ; caratteristiche degli apporti solidi e quindi tipo e ritmo della sedimentazione, ecc. (GAMBI e FRESI, 1981 ; OREL e Al., 1981/82). Essi possono perciò essere messi in relazione anche alle diverse modalità di trofismo, come è già stato fatto in un precedente lavoro relativo a parte dell'area ora in esame (VIO e Al., 1981).Procedendo in modo analogo sono state individuate tra le 112 specie di Molluschi censiti, sette principali modalità trofiche (FRETTER e GRAHAM, 1962 ; WOLFF, 1973 ; JORGENSEN, 1966) : Raspatori (1), Predatori (commensali ed ematofagi inclusi) (2), Sospensivori (3), Sospensivori/Detritivori selettivi (4), Sospensivori/Detritivori (5), Detritivori (6), Detritivori selettivi (7). Riunite le categorie 4, 5 e 6, 7 in quanto varianti di due modalità base, e ottenuti perciò i raggruppamenti 1, 2, 3, 4/5 e 6/7, mediante l'analisi della covarianza (**) si è visto che i sei clusters già considerati differivano in maniera altamente significativa anche per il numero di specie appartenenti ai più importanti ruoli trofici (***) ($F = 10.93 - 5$ e 128 g.l. e $p \ll 0.01$ per Predatori (2) ; $F = 7.58 - 5$ e 128 g.l. e $p \ll 0.01$ per Sospensivori (3) ; $F = 9.94 - 5$ e 128 g.l. e $p \ll 0.01$ per il ruolo 4/5 ; $F = 14.39 - 5$ e 128 g.l. e $p \ll 0.01$ per il ruolo 6/7. Trattando i dati in modo analogo si è visto inoltre che le stesse categorie sono differentemente distribuite anche nelle quattro biocenosi più importanti della zona, ed i Molluschi Detritivori sono più abbondanti nei VTC, i Sospensivori nel DC ed i Predatori in SFBC. Già nel 1956, SANDERS aveva notato che la biomassa dei Sospensivori diminuiva e quelle dei Detritivori aumentava con l'aumentare del contenuto in pelite dei sedimenti. Per saggiare una relazione di questo tipo, non disponendo di dati sedimentologici raccolti contestualmente ai campioni biologici, sono stati utilizzati dei dati granulometrici ottenuti da campioni di sedimento raccolti in altre occasioni nel raggio massimo di un miglio dalle stazioni di prelievo del benthos in zone tessituralmente omogenee. I dati che è stato possibile raccogliere in tal modo sono riportati in tab. 2 come percentuale di sabbia e sono correlati direttamente con il numero di specie di Sospensivori e inversamente con i Detritivori (correlazione per ranghi di Spearman. $t = 2.17 - n = 52$, $p \sim 0.05$ per Sospensivori/% sabbia ; $t = 2.88 - n = 52$, $p \sim 0.01$ per Detritivori/% sabbia). Ciò che è stato discusso finora fornisce quindi alcuni esempi di quanto sia importante per i popolamenti bentonici il complesso di fattori che regolano il trasporto, la deposizione e l'eventuale rimobilizzazione dei sedimenti non solo in relazione all'instaurarsi ed all'evolversi delle biocenosi bentoniche, ma anche in relazione alla distribuzione spaziale di specie a ruolo trofico differente. Gli apporti terrigeni vengono distribuiti in mare in funzione dell'azione di onde, correnti e correnti di marea ; è evidente perciò anche l'importanza a questi effetti del complesso di azioni idrodinamiche (modo) di un determinato biotopo. A questo riguardo WILDISH (1983) ha studiato le interazioni tra le correnti di marea, sedimenti e macrofauna e le ha descritte come differenti stati lungo un gradiente di velocità di corrente. Si comprende bene allora come l'alterazione delle condizioni di apporto e sedimentazione di una zona in seguito a dragaggi, imbonimenti costieri, rettificazione di linee di costa, spostamenti di foci, ampie operazioni di dumping, ecc. o l'alterazione delle condizioni idrodinamiche in seguito alla costruzione di dighe, difese costiere o per modificazioni climatiche possono portare a profondi cambiamenti della biologia dei fondali. A tale riguardo sembra ad esempio che i Posidonieti mediterranei siano complessivamente in regressione o a causa di alterazioni delle condizioni di sedimentazione indotte da attività antropiche oppure ancora in seguito a cicli climatici sfavorevoli (BLANC, 1969 ; PERES, 1971 ; BOURCIER, 1985). Ipotesi di questo genere sono state fatte anche riguardo la regressione della prateria a *Posidonia* ormai quasi completamente degradata, che occupa ampi tratti dei fondali antistanti le lagune di Grado e di Marano (OREL e Al., 1981/82). Tale regressione potrebbe però esser dovuta (o dovuta anche) a cambiamenti climatici, visto che molti dei fenomeni che hanno interessato l'Alto Adriatico in questi ultimi decenni (scomparsa degli Sgombri, comparsa in massa di *Paracentrotus*, sciamature eccezionali di *Pelagia noctiluca*, fenomeni di acque colorate, anossie dei fondali, ecc.) potrebbero benissimo essere interpretati quali risposte biologiche allo stabilirsi di un periodo di optimum climatico culminato attorno al 1970 (STRAVISI, 1980). Per ciò che concerne la formazione a *Cymodocea* dei fondali del Golfo di Trieste la possibilità di un suo arretramento verso biotopi meno profondi in seguito ad attività antropiche costiere è stata già messa in evidenza anni orsono (GHIRARDELLI e Al., 1975) ed è documentata per un caso particolare dall'elaborazione dei dati riportati in Tab. 3. Esiste infatti una stretta relazione tra distanza da a una zona costiera del Golfo di Trieste, utilizzata per anni come discarica di materiali di riporto e profondità di scomparsa di questa fanerogama. Tuttavia c'è da dire anche

1-4.90 ; 2-5.70 ; 3-4.60 . 4-4.25 ; 5-4.30 ; 6-5.00 ; 7-5.50 ; 8-5.00 ; 9-4.75 ; 10-4.70 ; 11-5.00 ; 12-5.15 ; 13-4.80 ; 14-4.60 ; 15-5.80 ; 16-5.75 ; 17-5.50 ; 18-5.70 ; 19-5.70.

TAB. 3 : Profondità di scomparsa del prato a *Cymodocea nodosa* tra la Staz. 1 (Barcola) e la Staz. 19 (Miramare) lungo la costa del Golfo di Trieste.

** Come covariante si è utilizzato il numero totale di specie dei diversi ruoli, stazione per stazione

*** Si è trascurato il ruolo «1» in quanto dotato di una rappresentanza piuttosto bassa.

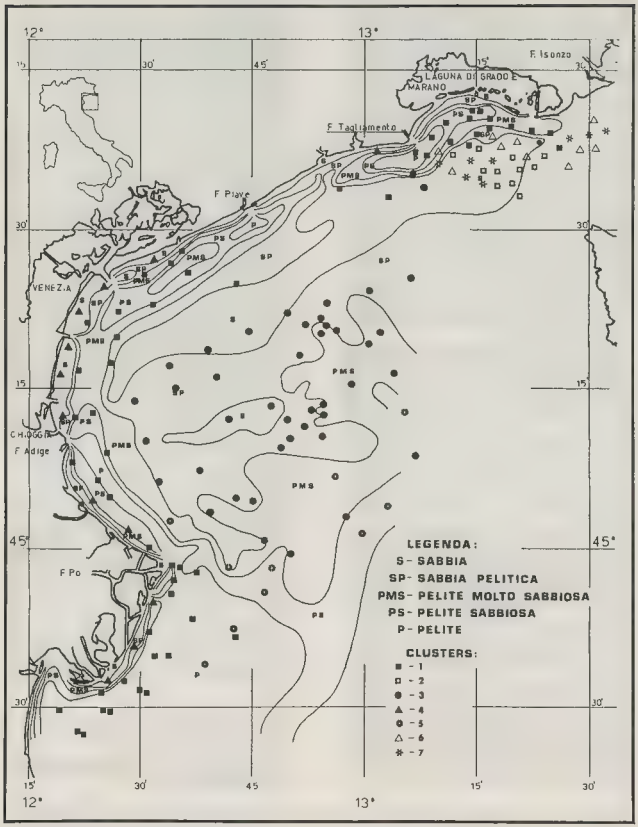


FIG. 5. — Distribuzione delle stazioni studiate nei clusters individuati

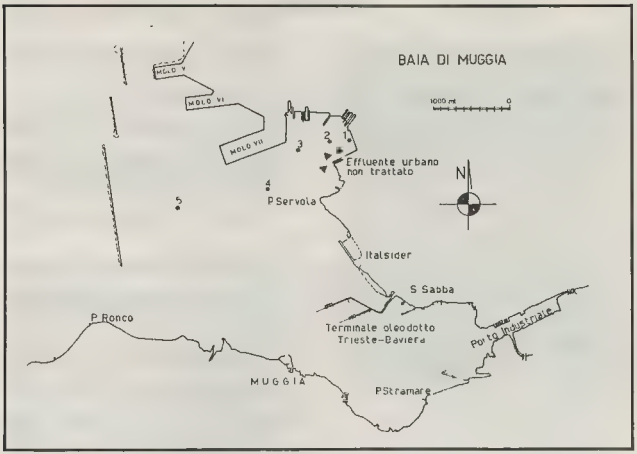


FIG. 6 — Stazioni di misura di O_2 disciolto a livello del fondo lungo un transetto nella Baia di Muggia

che la discarica si trovava sottocorrente rispetto ad uno sbocco di acque urbane non trattate al servizio di circa 100.000 abitanti e quindi i due effetti possono essersi sommati e non essere facilmente distinti. Gli effetti di versamenti di acque urbanesu popolamenti bentonici sono invece rilevabili di per se stessi sui fondali prospicienti la costa settentrionale della Baia di Muggia. L'effluente, al servizio di 200.000 abitanti non era al momento dei prelievi sottoposto ad alcun tipo di trattamento. La sua influenza sulla fauna bentonica è perciò rilevabile anche come complesso di fattori legati alla sedimentazione di abbondante materiale organico oltre che inorganico. Dall'andamento nel tempo della concentrazione di O_2 a livello del fondo su un transetto di cinque stazioni perpendicolare alla costa (Fig. 6) si rileva come durante il periodo estivo la quantità di O_2 disciolta nelle acque passa a frazioni di cc/litro o addirittura a 0. Tale situazione è chiaramente imputabile al consumo di O_2 determinato soprattutto dall'ossidazione delle sostanze organiche sedimentate. Fatte salve eventuali azioni tossiche, meno probabili negli ultimi dieci anni, in quanto molte industrie della zona hanno cessato la loro attività o si sono dotate di impianti di depurazione, è la deficienza o la mancanza di O_2 a determinare la fisionomia dei popolamenti bentonici dei fondali antistanti la costa settentrionale della Baia di Muggia (GHIRARDELLI e PIGNATTI, 1968 ; SPECCHI e OREL, 1968 ; GHIRARDELLI e Al., 1973 ; OREL e Al., 1980). Vi si riconosce la classica successione di zone descritta da BELLAN (1967), a parte l'assenza di una vera e propria zona a popolamento paucispecifico di Policheti, fatto riscontrato occasionalmente anche a Marsiglia in seguito a prolungati periodi di calma e di temperature elevate (PERES e BELLAN, 1970). E' probabile perciò che l'assenza di questo popolamento dalla zona soggetta a scarichi urbani della Baia di Muggia sia dovuta a ricorrenti anossie, visto che anche a fine estate del 1981, nelle stesse stazioni saggiate nel 1979/80, sono stati misurati valori di O_2 prossimi allo 0. In base all'ultima indagine svolta (1981) sembra però che, rispetto alle situazioni del 1966 e del 1975/76 sia registrabile una certa tendenza al riequilibrio, rilevata da alcuni fatti nuovi. In primo luogo, l'ampiezza della zona azoica in corrispondenza ai maggiori scarichi industriali tende a ridursi. E probabile che ciò sia riferibile all'entrata in funzione di depuratori (è presumibile ad esempio che, dopo l'entrata in funzione del depuratore Italsider, cianuri, fenoli, mercaptani e tonnellate mensili di naftalina non vengano più versate in mare). In secondo luogo la dotazione faunistica della Baia di Muggia appare nel complesso arricchita. Alcune specie di Molluschi mai raccolti nella Baia vi compaiono ora con una certa frequenza. Dopo la conclusione dei lavori di dragaggio effettuati a più riprese per l'apertura, l'ampliamento e la manutenzione del canale delle petroliere e del bacino di evoluzione collegati al terminal dell'oleodotto Trieste-Baviera, nonchè dopo il completamento del molo VII, della banchina Italsider e di un bacino di carenaggio, ciò viene intepretato quale effetto di un maggior equilibrio del ntmo sedimentario D'altra parte alcune zone di fondo appaiono più intrise di idrocarburi di quanto non lo fossero nel 1966.

CONCLUSIONI

In conclusione, questo lavoro ha preso lo spunto da tre situazioni di instabilità sedimentarıa : l'una generale relativa al Golfo di Venezia in cui, accanto a zone a libera evoluzione sotto la spinta di questo fattore, ci sono altre zone in cui si manifestano situazioni di sinergismo causate da attività di dumping e di intensa pesca a strascico ; l'altra relativa a squilibri introdotti prevalentemente da interventi di imbonimento attuati in assenza di opere di contenimento ; la terza infine in cui allo squilibrio del ritmo di sedimentazione si aggiungono gli effetti legati alla domanda di ossigeno necessario ad ossidare le sostanze organiche depositate. Sono forse questi ultimi fenomeni quelli che recentemente hanno attirato la maggiore attenzione, ciò non toglie però che i fenomeni relativi all'impatto di modificazioni degli equilibri sedimentari sulla biologia di un bacino appaiono già da tempo di grande importanza in quanto coinvolgono aspetti diversi dell'ecosistema con risultati talvolta irreversibili. Spesso per altro tali modificazioni sommano i loro effetti a quelli di azioni indotte da fattori agenti su ampia scala spaziale e temporale quali profondi rassetti territoriali e cambiamenti climatici. E' per questa ragione che attività come rettificazioni di linee di costa, imbonimenti costieri, bonifiche, spostamenti di foci, apprestamento di porti, prelievo di materiali per l'edilizia dai fiumi, dalle spiagge o da giacimenti costieri e del largo, difese costiere, dragaggi e restituzione di materiali dragati, particolari attività di pesca, come ad esempio quelle che si giovano di arnesi capaci di penetrare nel substrato, ecc., dovrebbero essere condotte con maggiore prudenza e con una migliore conoscenza delle modificazioni che possono indurre.

BIBLIOGRAFIA

BELLAN (G.), 1967. — Pollution et peuplements benthiques sur substrat meuble dans la région de Marseille. Première partie Le secteur de Cortiou. *Revue int. Oceanogr. med.*, 6-7, 53-87.

BELLAN (G), 1967a. — Pollution et peuplements benthiques sur substrat meuble dans la région de Marseille. 2ème partie. L'ensemble portuaire marseillais. *Revue int. Oceanogr. med.*, 8, 51-95.

BLANC (J.J.), 1969. — The sedimentary geology of the Mediterranean Sea. *Ocean. Mar. Biology*, 6, 377-454.

BOURCIER (M), 1985 — Regression de herbiers à *Posidonia oceanica*, à l'Est de Marseille, sous l'action conjuguée des activités humaines et des modifications climatiques. *Second International Workshop on Posidonia oceanica*, Ischia, 7-11 ottobre 1985

BRAMBATI (A.), CIABATTI (M.), FANZUTTI (G P), MARABINI (F.) et MAROCCO (R), 1983. — A new sedimentological textural map of the Northern and Central Adriatic Sea. *Boll. Oceanol. Teor. Appl.*, 1, 4

COLANTONI (P.), FANZUTTI (G.P.) et MAROCCO (R.), 1985. — Geologia della piattaforma adriatica. P F. Oceanografia e Fondi Marini. Sottoprogetto Risorse Minerarie, Rapporto Tecnico Finale

FRETTER (V.) et GRAHAM (A.), 1962. — British Prosobranch Molluscs. Ray Society, London, 755 pp.

GAMBI (M C.) et FRESI (E.),. 1981. — Ecology of soft bottom macrobenthos along the coast of Southern Tuscany (Parco Naturale della Maremma). *Rapp. Comm int Mer. Medit.*, 27, 2, 123-125.

GHIRARDELLI (E.), OREL (G.) et GIACCONE (G.), 1973. — L'inquinamento del Golfo di Trieste. *Atti Mus. civ. St nat Trieste*, 28, 2, 431-450

GHIRARDELLI (E.) et PIGNATTI (S), 1968. — Consequences de la pollution sur les peuplements du «Vallone du Muggia» près de Trieste. *Revue int Oceanogr. med.*, 10, 111-122.

JORGENSEN (C.B.), 1966. — Biology of suspension feeding. Pergamon Press, Oxford, 357 pp

LAGONEGRO (M.) et FEOLI (E.), 1984. — THREEPA — ckages for classification and ordination of multivariate data. Libreria Goliardica, Trieste.

NELSON (B.W.), 1970. — Hydrography, sediment dispersal and recent hystorical development of the Po River delta (Italy). In : J.P. Morgan and R.H Shaver (Eds.), Deltaic sedimentation. Modern and ancient. S.E.P.M. Spec. Publ., 15, 152-184

NEWTON (R) et STEFANON (A.), 1976. — Primi risultati dell'uso simultaneo in Alto Adriatico di Side-Scan-Sonar, Sub-Bottom Profiler ed ecografo. *Mem. Biogeogr. Adriatica*, Suppl., 10

NEWTON (R) et STEFANON (A.), 1982. — Side Scan Sonar and Sub-Bottom Profiler in the Northern Adriatic Sea. *Mar. Geol.*, 46, 279-306.

OREL (G.), VIO (E.), MANJA' (M.) et DEL PIERO (D.), 1980 — I popolamenti bentonici su due radiali della costa settentrionale della Baia di Muggia. *Mem. Biol. Mar Oceanogr*, Suppl., 10, 241-245.

OREL (G.), VIO (E.) et BRUNELLO-ZANITTI (C.), 1981/82. I popolamenti bentonici dei fondi antistanti le lagune di Grado e Marano (Alto Adriatico). *Nova Thalassia*, 5, 31-56.

PERES (J.M), 1971. — Considerations sur la dynamique des communautés benthiques. *Thalassia Jugoslavica*, 7, 1, 247-277.

PERES (J.M) et BELLAN (G.), 1970. — Aperçu sur l'influence des pollutions sur les peuplements benthiques Marine Pollution and Sea Life Fishing News (Books) Ltd., Surrey, London, 375-386.

PERES (J.M.) et PICARD (J), 1964. — Nouveau manuel de bionomie benthique de la Mer Méditerranée. *Rec. Trav. St. Mar. Endoume*, 31, 47.

ROSSI (S.) et OREL (G.), 1968 — Nota preliminare sulle «Sabbie ad Anfiosso» da Punta Sdobba a Chioggia. *Boll. Soc. Adr. Scienze*, 56, 2, 234-242.

STEFANON (A), 1979. — Gli affioramenti roccinsi dell'Alto Adriatico : considerazioni sulla loro distribuzione, struttura ed evoluzione, nel contesto del problema del bacino. *Atti Convegno Scientifico Nazionale Prog Fin. Ocean. e Fondi Marini*, 3, 1233-1242.

STRAVISI (F.), 1980. — Il regime dei venti a Trieste (1951-1975). *Boll. Soc. Adr. Scienze*, 61, 87-104.

VATOVA (A), 1935. — Ricerche preliminari sulle biocenosi del Golfo di Rovigno. *Thalassia*, 2, 2.

VATOVA (A.), 1949. — La fauna bentonica dell'Alto e Medio Adriatico. *Nova Thalassia*, 1, 3.

VIO (E.), VALLI (G.) et OREL (G.), 1981. — Classification de quelques-unes des biocoenoses de la Haute Adriatique par l'étude de la malacofaune. *Rapp. Comm. int. Mer Medit.*, 27, 2, 133-134

WILDISH (D J.), 1984. — Geographical distribution of macrofauna on subliuoral sediments of continental shelves a modified trophic ratio concept. *XIX Symposium of Marine Biology*

WOLFF (W.J.), 1973. — Estuary as a habitat. *Zoologische Verhandlingen*, Leiden, 126, 1-242.

ANNEXES

TABLEAU I

a : Specie di Molluschi caratteristici delle principali unità biocenotiche dell'Alto Adriatico e loro modalità trofiche — 1) raspatore, 2) predatore, commensale, ematofago, 3) sospensivoro, 4) sospensivoro, detritivoro selettivo, 5) sospensivoro detritivoro, 6) detritivoro, 7) detritivoro selettivo — nelle stazioni studiate

b : Specie di Policheti caratteristici delle principali unità biocenotiche dell'Alto Adriatico nelle stazioni studiate

c : Specie di altri Phyla caratteristiche delle principali unità biocenotiche dell'Alto Adriatico nelle stazioni studiate.

(°) Specie «vas. str.» elevata al rango di «preferenziale VTC»
(*) Specie «sab. str. o sab. tol» elevata al rango di «preferenziale SFBC».

Crociere : A = 1967 ; B = 1969 ; C = 1979 ; D = 1979 ; E = 1983 ; F = 1984.

TAB. 1 a

Diodora graeca (1) — A . 24, 25 , B 76. *Diodora italica* (1)–A 3, 36 *Turritella communis* (4) (VTC) — A . 32 , B : 10, 12, 14, 17, 24, 35, 47, 53, 59, 67 , C · 7, 11 , D 3, 5, 21, 7, 9, 10, 16, 17 19 ; E . A , F 001, 003, 101, 103 *Heliacus architae* (2) - B : 32. *Cerithium vulgatum* (1) — A · 33, 38, 41, 42, 43 *Epitonium commune* (2) — B 15, 36, 63, 66 ; D . 9. *Strombiformis glaber* (°) (2) (VTC) — B : 3, , 8, 18, 19, 20, 21, 22, 32, 33, 35, 36, 37, 50, 59, 64 ; D : 9, 10, 16 ; E : A. *Melanella intermedia* (2) — B : 1, 18. *Melanella polita* (2) (DC) — B : 5, 7, 16, 18, 21, 38, 39, 40, 41, 75, 77. *Calyptraea chinensis* (3) — A . 12, 15, 21, 22, 24, 34 ; B : 1, 2, 3, 4, 5, 11, 13, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 25, 27, 33, 35, 36, 37, 38, 39, 43, 50, 58, 60, 62, 63, 70, 71, 75, 76, 77 , D 7, 9, 10, E A ; F : 003, *Crepidula gibbosa* (3) — A : 12 ; B : 19 *Aporrhais pespelecani* (4) — A . 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 27, 29, 32, 35 ; B : 1, 2, 3, 5, 7, 10, 12, 13, 14, 17, 18, 19, 21, 23, 27, 29, 35, 40, 41, 42, 44, 48, 49, 50, 53, 54, 58, 59, 61, 64, 65, 67, 68, 70, 72, 75 ; C : 8 ; D . 17 *Natticarius hebraeus* (2) — B · 13, 15, 38 *Naticarius punctatus* (2) — B . 52, 53. *Lunatia guillemini* (2) — A : 5, 6, 10, 11, 15, 21, 29 , B 29, 70 , D : 16, 17, F 001 *Lunatia pulchella* (2) — A . 5, 6, 10, 11, 16 , B : 2, 5, 7, 13, 14, 18, 29, 31, 40, 59, 60, 62, 63, 64, 68, 69, 72, 73, 75 , E : A *Bolinus brandaris* (2) — A : 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 21, 24, 25, 26, 28, 31, 34, 39, 40, 41, 42, 44, B 8, 9, 10, 11, 13, 14, 33, 36, 61, 66, 67, 73, 77. *Phyllonotus trunculus* (2) — A : 1, 2, 5, 17, 23, 24, 25, 27, 29, 33, 34, 41, 44, B 77 *Trophonopsis muricatus* (2) — B . 16, 21, 22, 25, 32, 33, 34, 36, 38, 40, 41, 44, 46, 49 ; D : 7 , F . 103. *Hadriania craticuloides* (2) — B 27, 32, 39. *Nassarius mutabilis* (2) (SFBC) — A : 10 ; B : 8, 9, 13, 29, 30, 31, 42, 55, 56, 57, 58, 60, 62, 63, 66, 73 ; C : 8, 9 *Cyclope neritea* (2) —B 31, 55, 57 *Hinia reticulata* (2) — B 8, 9, 29, 31, 50, 51, 58 ; C 7, 8, 9 ; D 19 *Hinia incrassata* (2) — B : 9, 29, 30, 31, 55, 56, 57, 58, 66. *Hinia limata* (2) — B : 42, 52 *Hinia pygmaea* (2) (SFBC) — A : 1 ; C . 1, D 3, 5, 16, 17, 19. *Fusinus rostratus* (2) — A : 2, 12, 15, 18, 22, 23, 24, 25, 26, 34, 35, 40, 42, 44 , B : 27, 32, 33, 36, 38, 39, 71, 77 ; D . 17, 19 ; F 003 *Mangelia costulata* — D 3, 5, 21, 7, 10, 16, 17, 19 , E : A , F . 003 *Bela nebula* (SFBC) — B : 8, 13, 30, 31, 55, 56, 57, 60, 62, 63, 66, 73 ; D : 16, 17. *Bela brachystoma* — B 17, 55 ; D : 5, 21, 7, 16, 17, 19 ; E · A. *Raphitoma reticulata* — A 24 ; B : 38, 41. *Actaeon tornatilis* (SFBC) — B : 8, 9, 14, 29, 30, 37, 64, 67, 72 . D : 21, 7, 16, 17, 19 , E : A ; F : 001. *Hamynoea hydatis* — B . 15, 29, 64 *Philine aperta* (*) (SFBC) — B 3, 8, 9, 12, 14, 15, 16, 22, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 40, 41, 42, 48, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 62, 64, 65, 67, 68, 69, 70, 76, 77, C 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ; E · A. *Philine scabra* — B 22, 27, 30, 37, 45, 47, 70 *Akera bullata* — A 11, 12, 15, 18, 36 , B . 64 *Cylichna cylindracea* — B : 9, 12, 14, 15, 16, 28, 29, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 59, 61, 64, 67 ; D . 7, 9, 17, 19 ; E : A , F 001, 003, 101 *Odostomia conoidea* — D : 17, 19. *Turbonilla rufa* — B 13, 63, 66 *Dentalium dentalis* (6) ; B : 10, 12, 14, 23, 25, 27, 33, 36, 37, 38, 50, 52. *Dentalium inaequicostatum* (6) — A . 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 15, 16, 21, 22, 35 ; B . 10, 11, 14, 17, 18, 19, 20, 28, 32, 37, 41, 50, 51, 58, 59, 64, 65, 67, 68, 75 , C . 7. *Chiton olivaceus* (1) — A : 35 , B . 31. *Acanthochitona aenea* (1) , B : 18, 39 *Nucula nucleus* (4) — A : 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 16, 17, 21, 24, 29, 32, 41, 43 , B . 2, 3, 5, 7, 10, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 58, 59, 64, 67, 68, 70, 71, 72, 75, 76, 77. C : 4, 7, 8 ; D : 3, 7, 9, 10, 16, 17, 19 ; E : A ; F : 001, 003, 101, 103. *Nucula sulcata* (°) (4) (VTC) — B 19, 20, 22, 24, 25, 26, 32, 36, 40, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 52 ; D : 9. *Nuculana pella* (7) — A : 5, 6, 9, 10, 11, 21, 24 , B . 6, 7, 15, 16, 18, 25, 27, 58 *Nuculana fragilis* (7) ; B . 2, 3, 5, 7, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 43, 44 ; D · 16, 17 , E : A ; F . 001, 003. *Arca noae* (3) — A . 19, 23, 25, 29, 31 ; B : 1. *Scapharca inaequivalvis* (3) ; B . 39 ; C · 3, 4, 6, 9 *Glycymeris glycymeris* (3) — B 62. *Musculus costulatus* (3) — B : 7, 50, 76 ; D : 10. *Musculus subpictus* (3) — B : 13, 14, 15, 29, 62, 69, 75, 77 , C : 10 ; D . 7, 9 , E A *Modiolus barbatus* (3) — A : 1, 4, 12, 17, 21, 23, 24, 27, 28, 29, 41, 43 ; B : 71, 75 *Atrina pectinata* (3) — D 9, 19 *Chlamys varia* (3) — A . 1, 17, 23 ; B · 14, 70. *Chlamys glabra* (3) — A : 1, 24 ; B · 7, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 29, 51, 58, 60, 62, 64, 70, 75 , C . 9 *Aequipecten opercularis* (3) — A 10, 11, 12, 13, 17, 18, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 34, 36, 40, 41, 42, 43, 44 , B 1, 2, 3, 4, 7, 14, 15, 16, 17, 19, 21, 27, 29, 37, 38, 40, 49, 50, 51, 53, 54, 59, 77 , C . 11 ; D : 3, 5, 21, 7, 9, 10, 16, 17, 19 ; E . A *Anomia ephippium* (3) — A . 17, 18, 29, 34, 41 ; B · 1, 2, 4, 16, 21, 30, 38, 71, 73 ; D . 7 ; F : 003, 101. *Podochesma patelliformis* (3) — C 7, D : 7, 9 *Limaluna* (3) — A 37 ; B . 75 *Lima inflata* (3) — A · 17, 28, 37 *Limea loscombei* (3) (DC) — A : 23, 29, 30, 44 , B 71, 76, 77 , D . 17 *Ostrea edulis* (3) — A . 17, 23 ; B . 13, 14, 29, 60, 62, 63, 66, 73. *Anodontia fragilis* (3) — B · 9, 12, 13, 17 , D . 5 ; F : 001, 003 *Myrtea spinifera* (3) — B . 6, 23, 25, 36, 40, 41, 64 , C . 10 ; D : 9 ; E . A ; F : 001, 003, 103. *Thyasira flexuosa* (°) (3) (VTC) — B 20, 22, 23, 24, 25, 26, 32, 36, 37, 43, 44, 45 , C : 11 , D . 9, 10, 16 ; F : 001, 003, 101, 103 *Abra alba bidentata* (°) (3) (VTC) — B . 9, 22, 29, 42, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 59, 64 ; C . 8, 9 ; F : 003 *Tellimya ferruginosa* (3) (SFBC) — B 29. *Acanthocardia echinata* (3) — A . 44 , B 70. *Acanthocardia paucicostata* (3) (°) (VTC) — A 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 16, 22, 29, 39, 43, 44 , B 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 27, 29, 31, 33, 36, 37, 40, 41, 42, 49, 50, 52, 53, 54, 59, 61, 64, 68, 75, 76 , C 7, 9 ; D 3, 7, 9, 10, 16, 17, 19 *Acanthocardia tuberculata* (3) (SFBC) — B . 2, 13, 21, 55, 60, 62, 63, 66, 73. *Parvicardium exiguum* (3) — A · 4, 27 , B : 2, 37, 40 *Parvicardium minimum* (3) — C · 3, 4 ; D · 9, 10, 16, 17, 19 *Plagiocardium papillosum* (3) (DC) — A 5, 24, 25, 28, 41, 44 , B 1, 2, 3, 4, 5, 7, 14, 15, 16, 18, 36, 38, 41, 70, 71, 72, 75, 76, 77 ; C 11 , D 7, 16, 17, 19 , E . A , F : 001, 101 *Laevicardium oblongum* (3) (DC) — A 41, 44 , B 1, 2, 3, 4, 5, 6, 70 ; C . 11 , D 17 *Laevicardium crassum* (3) (SGCF) — B . 7, 15, 16, 27, 38, 71, 75, D . 9 *Mactra stultorum* (3) — B . 31, 55, 56, 57, 63. *Spisula*

subtruncata (3) (SFBC) , C · 1 ; D · 3, 21, 7, 9, 10, 16, 17, 19. *Ensis ensis* (3) — A : 27, 41 ; B : 3, 25, 27, 41, 57, 70, 77 , D 3, 16, 17, 19. *Ensis minor* (3) — B : 7, 18, 21, 33, 36, 56, 60, 62, 71, 73 *Cultellus adriaticus* — A : 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 16, 21, 27, 28, 40, 43 ; B · 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 58, 59, 61, 64, 65, 67, 68, 70, 71, 75, 76, 77 , C 4, 6, 8, 9, 10, 11 , D 3, 5, 21, 7, 9, 10, 16, 17, 19 ; F · 001, 003, 103 *Tellina balaustina* — A · 1, 29, 30 *Tellina fabula* (4) (SFBC) — B 7, 8, 9, 13, 29, 30, 31, 73 *Tellina nitida* (SFBC) ; B · 8, 31, 57 ; C · 1, 3, 4, 5, 6, 8, 9 *Tellina serrata* — A · 32 ; B 19, 36, 37, 64 , D · 7, 9, 19 , E : A ; F 001 *Tellina distorta* — A · 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 15, 16, 32, 33, 41, 44, B 1, 3, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 14, 16, 17, 18, 21, 27, 28, 29, 33, 35, 36, 37, 39, 40, 41, 42, 44, 51, 52, 53, 58, 59, 61, 64, 65, 67, 68, 70, 71, 72, 75, 77 ; C 4, 5, 6, 7, 9 ; D 5, 21, 7, 9, 17, 19 , E A ; F 001, 003 *Donax semistriatus* (5) — B : 30, 57, 62, 63. *Donax trunculus* (5) — B : 55, 57. *Psammobia fervensis* (7) (DC) — A . 22, 41 ; B . 3, 5, 16, 18, 21, 25, 26, 27, 29, 36, 37, 61, 75 ; D : 21, 7, 10, 16, 17, 19 ; F : 001, 003. *Abra nitida* (6) (VTC) — A : 8, 9, 41, 44 ; B : 9, 10, 22, 23, 24, 29, 42, 44, 45, 46, 47, 56, 58 , C : 3 , D · 19 ; F · 101, 103 *Abra prismatica* (7) (DC) — B 1, 2, 3, 5, 6, 7, 15, 16, 18, 19, 21, 36, 38, 39, 41, 71, 77 , C 11 ; D : 3, 7, 17, 19 *Abra pellucida* (6) — B . 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 33, 36, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 50, 52, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 67, 72, 75, 77 , C 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ; D : 3, 5, 21, 7, 9, 10, 16, 17, 19 ; E A ; F 001, 003, 101, 103. *Azorinus chamasolen* (5) — B : 15, 17, 29, 40, 59 , F 003, 103 *Pharus legumen* — B 8, 31 *Chamelea gallina* (3) (SFBC) — A 1, B 8, 13, 29, 30, 31, 55, 56, 57, 60, 61, 62, 63, 66, 72, 73 ; C · 6. *Clausinella brongniarti* (3) — A · 40, 42, 43 ; B 70 , D 17 ; F A. *Timoclea ovata* (3) — B 1, 2, 3, 16, 21, 38 ; C 11 , D 3, 5, 21, 7, 9, 10, 16, 17, 19 , E : A , F : 001, 103 *Dosinia lupinus* (*) (3) (SFBC) , B 13, 29, 58, 63 , C · 9 *Pitar rudis* (DC) — A 21, 32, 43, 44 ; B : 1, 2, 3, 5, 6, 7, 11, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 27, 34, 36, 37, 39, 40, 41, 44, 50, 54, 59, 68 , C · 11 ; D 3, 5, 21, 7, 9, 10, 16, 17, 19 , E : A ; F · 001, 003, 101, 103 *Callista chione* — A 36 ; B 76 *Venerupis aurea* (3) — A : 4, 5, 6, 7, 8, 9, 17, 32, B. 1, 2, 7, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 33, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 49, 50, 51, 52, 56, 58, 59, 60, 61, 63, 65, 68, 71, 72, 75, 76, 77, C 1, 4, 6, 9 ; F · 003 *Venerupis rhomboides* (SGCF) — 25, 31 , D . 3, 21, 7, 9, 10, 16, 17, 19 , F 003 *Mysia undata* (3) — B . 7, 18, 19, 27, 33, 36, 41, 42, 46, 53, 62 ; D 21, 7, 9, 10, 16, 17, 19 ; D · 001, 003, 103 *Corbula gibba* (3) , A : 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 29, 31, 32, 35, 41 ; B 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 27, 28, 29, 31, 33, 34, 35, 37, 38, 39, 40, 41, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 75, 76, 77 ; C : 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ; D : 3, 5, 21, 7, 9, 10, 16, 17, 19 ; E : A ; F : 001, 003, 103. *Rocellaria dubia* (3) — A : 12, 17, 19, 21, 24 *Hiatella arctica* (3) — A : 1, 18, 24, 25, 26, 27, 36, B 1, 2, 3, 4, 5, 7, 14, 16, 18, 19, 21, 22, 23, 33, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 44, 48, 49, 50, 52, 59, 61, 71, 77 ; C : 11 ; D : 7, 9, 10 ; E : A ; F 001, 003, 101 *Pandora pinna* (3) (DC) — B 2, 27, 47 , D 17, 19 ; E A , F 003 *Lyonsia norvegica* (3) — B 3, 21, 23, 27, 37, 41, 77 ; D : 17, 19 , F 001, 003 *Thracia pubescens* (3) — D : 10, 16, 19 ; F 003, 101. *Cuspidaria cuspidata* (6) — B : 2, 3, 27, 28, 37 ; D : 17 ; F : 001.

TAB. 1b

Hermione hystrix (DC) — A 1, 30, 35, 39, 44. *Phyllodoce lineata* (VTC) — A · 5, 6 *Nephthys hystricis* (VTC) — B 10, 23, 26, 32, 34, 35, 37, 43, 44, 45, 46, 47, 50, 51, 52, 54, 58, 59 ; C · 3, 4, 5, 6, 7, 9 , D 5, 21, 7, 10, 16 , F 001, 003, 101, 103. *Glycera gigantea* (SGCF) — A 30, 37 ; B · 6, 41. *Goniada maculata* (VTC) — B . 3, 5, 6, 17, 19, 25, 27, 33, 36, 37, 39, 40, 41 ; C 11 ; D : 21, 7, 16, 17, 19 , E : A , F : 001, 003 *Lumbrineris fragilis* (*) (VTC) — B 20, 24, 33, 36, 37, 38, 52, 76 *Laonice cirrata* (VTC) — A . 5, 6, 8, 9, 10, 11, 15, 43 ; B : 3, 5, 6, 10, 12, 14, 17, 19, 33, 36, 39, 40, 41, 44, 67, 68, 70, 72 , C . 2, 9 ; D . 16, 17, 19 . E . A , F : 001, 003, 101 *Spiophanes bombyx* (SFBC) — D 9, 10 , F . 001. *Prionospio malmgreni* (SFBC) — A : 5 ; B : 3, 5, 6, 17, 19, 20, 33, 35, 36, 37, 39, 40, 43, 44, 47, 48, 68 , D : 5, 21, 7, 9, 10, 16, 17, 19. *Poecilochaetus serpens* (VTC) , C 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11 , F 001, 003 *Magelona alleni* (VTC) — B 43 , C · 2, 8, 9 *Chaetozone setosa* (*) (VTC) — B . 19, 25, 32, 33, 34, 35, 41, 42, 43, 44, 45, 50, 52, 59 ; C . 7, 9, 11 ; D : 21, 16, 19 ; E : A ; F · 001, 003, 101, 103 *Scalibregma inflatum* (*) (VTC) — B 3, 25, 36, 37, 39. *Brada villosa* (VTC) — B · 20, 35, 42, 50, 51, 53, 54. *Clymene gracilis* (*) (VTC) — B : 3, 10, 12, 17, 19, 20, 23, 25, 28, 35, 36, 37, 40, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 64, 65, 67, 68, 77 , F : 001. *Maldane glebifex* (*) (VTC) — A . 7, 8, 10, 13, 15, 21, 22, 32 , B . 10, 12, 14, 19, 23, 28, 33, 35, 44, 48, 50, 51, 52, 53, 54, 58, 59, 63, 64, 65, 68 , C 2, 4, 5, 10, 11 ; D · 21 , F · 001, 003, 103 *Owenia fusiformis* (SFBC) — A 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, B · 3, 5, 6, 10, 12, 14, 17, 19, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 43, 46, 56, 58, 60, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 72, 73, 76, 77 , C 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ; D 3, 5, 21, 7, 9, 10, 16, 17, 19 , E A , F 001, 003, 101, 103 *Myrrochele heeri* (*) (SFBC) — A : 5, 6, 9, 11, 16, 25 , B · 3, 5, 6, 10, 19, 25, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 68 , C : 11 ; E A , F 001, 003, 101, 103. *Sternaspis scutata* (VTC) — B 10, 14, 20, 22, 23, 24, 26, 28, 29, 32, 33, 34, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 58, 59, 62, 72 ; C . 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10 ; D · 3, 5, 21, 7, 9, 10, 16 , F 001, 003, 101, 103 *Pectinaria belgica* (VTC) , B · 50 *Ampharetе grubei* (VTC) — A : 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 21, 22, 31 , B 3, 5, 6, 10, 12, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 27, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 58, 65, 68 ; C 2, 3, 11 , D . 3, 5, 21, 7, 9, 10, 16, 17, 19 , E . A ; F : 001, 003, 101, 103. *Chone filicaudata* (SFBC) — B . 5, 6. *Vermiliopsis infundibulum* (DC) — A · 20 ; B . 3, 38 ; C 11. *Ditrupa arietina* (DC) — C : 11, D : 3, 5, 16, 17, 19.

TAB. 1c

Virgularia mirabilis (VTC) ; B · 23, 34, 36, 42, 44, 47 , C : 2 ; D · 21, 7, 9, 10, 16, 17 ; F : 101. *Pagurisses oculatus* (DC) — A : 1, 17, 18, 21, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 33, 34, 37, 39, 40, 41, 42, 44 *Macropipus pusillus* (SGCF) — A . 1, 4, 16, 17, 23, 25, 42, 44. *Labidoplax digitata* (VTC) — A 13, 32 ; B . 20, 26, 36, 37, 41, 42, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 58, 59, 64, 68 ; C · 9 *Trachythyone tergestina* (VTC) — A . 6, 8, 10, 15, 16 , B · 3, 6, 22, 26, 27, 32, 36, 40 , D . 3, 17, 19 *Astropecten aranciacus* (SGCF) — A : 7, 20, 34, 40 ; B 6, 19, 29, 41, 58, 64, 66, 75, 77 ; C 9, F . 003, 101 *Ophiura albida* (DC) — A . 1, 2, 20, 24 ; B . 3, 5, 6, 10, 12, 19, 22, 25, 27, 32, 33, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 43, 46, 71, 75, 76 ; C · 2, 8, 9, 10 , D · 17, 19 *Ophiura grubei* (DC) — A . 1, 5, 7, 8, 9, 10, 13, 15, 17, 18, 24 ; B 3, 5, 6, 17, 19, 27, 29, 30, 34, 35, 36, 39, 41, 42, 43, 44, 45, 49, 50, 51, 52, 53, 58, 63, 65, 68, 71, 75, 76, 77 , C . 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ; D . 3, 5, 21, 16, 17, 19. *Psammechinus microtuberculatus* (DC) — A : 2, 17, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 37, 39, 43, B. 38, 76. *Sphaerechinus granularis* (SGCF) — A · 40 ; B : 12, 71. *Echinocardium cordatum* (SFBC) — A . 5. *Branchiostoma lanceolatum* (SGCF) — A : 1 ; B : 77.

TABLEAU 2

% di sabbia, numero di specie sospensivore e detritivore in alcune stazioni della zona studiata : A (1967) ; B (1969) ; D (1969) ; D (1979) ; F (1984) ; il primo numero indica la stazione, il secondo la % di sabbia, il terzo ed il quarto rispettivamente il numero di specie sospensivore e detritivore.

A · 1, 99. 4, 6, 1 ; 5, 30. 6, 4, 2 ; 7, 7 9, 3, 1 , 9, 14. 7, 3, 3 , 10, 17, 3, 2 ; 11, 2. 7, 3, 2 ; 18, 95. 2, 3, 0 ; 19, 96. 9, 2, 0 ; 20, 88 1, 1, 0 , 21, 88. 1, 5. 2 ; 23, 77, 6, 0 ; 25, 93 5, 5, 0 ; 30, 96. 4, 1, 0 ; 31, 96. 8, 3, 0 ; 35, 52. 5, 1, 1 , 39, 99. 5, 1, 0 ; 40, 99. 5, 2, 0 , 43, 99. 5, 4, 0 : B · 1, 78 9, 10, 2 : 2, 69 1, 13, 4 ; 3, 83, 10, 5 ; 4, 98 8, 7, 0 ; 5, 96. 9, 7, 4 , 6, 98. 5, 4, 3 , 8, 92. 5, 2, 1 ; 9, 92. 5, 5, 2 ; 11, 97. 7, 4, 5 ; 13, 98 9, 11, 1 ; 14, 10, 10, 3 ; 15, 94. 7, 7, 3 , 16, 91. 7, 8, 3 ; 18, 75. 6, 5 , 24, 9, 1, 3 , 26, 37. 1, 1, 3 , 38, 94. 7, 9, 3 , 39, 88. 6, 5, 2 ; 40, 83. 3, 7, 1 ; 41, 97. 4, 9, 3 ; 43, 56. 8, 1, 2 ; 45, 19. 3, 1, 2 ; 46, 1 7, 2, 2 ,47, 0. 9, 1, 3 , 61, 99. 1, 5, 2 ; 62, 99. 1, 10, 0 ; 70, 97. 5, 9, 0 ; 71, 96. 10, 1 ; 73, 90, 5, 0 ; 75, 98. 1, 10, 3 ; 76, 98. 1, 7, 0 , 77, 95. 2, 10, 2 , D : 21, 63 6, 5, 2 : F : 103, 19 7, 5, 2.

RAPPORT SUR LE THÈME IV

LES TRANSFERTS LITTORAUX EN MÉDITERRANÉE

par André MONACO et Guiliano OREL

Les communications sur ce thème ont porté sur la dynamique des particules fines porteuses de la plupart des polluants métalliques et organiques (A. MONACO), sur la dynamique des sédiments non cohésifs littoraux (G. FIERRO) et sur les relations substrat sédimentaire —biocénoses benthiques (G. OREL *et al*)

Les rapporteurs attirent l'attention sur les points suivants : nécessité de fixer les échelles d'un écosystème pour en assurer la gestion, utilité d'intégrer tous les paramètres du milieu (physique, chimique, biologique) et de connaître leur variabilité spatio-temporelle

Ils recommandent les actions pluridisciplinaires pour connaître et gérer le domaine littoral confronté aux problèmes d'évolution globale et de l'impact des actions anthropiques. Un atlas pourrait être constitué à l'exemple de celui présenté pour les plages italiennes par G. FIERRO.

RÉSUMÉS DES COMMUNICATIONS PAR AFFICHAGE

LES ÉTUDES ÉCOLOGIQUES DANS LE DELTA DU PÒ : ASPECTS FONDAMENTAUX ET APPLICATION AU SITE DE LA CENTRALE DE PORTO TOLLE

Romano AMBROGI

ENEL — Centro di Ricerca Termica e Nucleare - Via Rubattino 54 — 20134 — MILLANO (Italie)

Les problèmes liés à la construction de la centrale thermoélectrique de Porto Tolle (4 tranches de 660 MW) et les conséquences sur l'écosystème du Delta du Pô ont été abordés par un programme de recherche multidisciplinaire, coordonné par le Centre de Recherche Thermique et Nucléaire de l'Organisme National de l'Energie Electrique (ENEL).

Le études écologiques ont concerné les trois biotopes qui peuvent être affectés, à différents degrés, par les rejets d'eau chaude : notamment l'embouchure du «Po di Pila», la lagune saumâtre «Sacca del Canarin» et la zone marine adjacente.

L'étude d'impact a été conçue de façon à comparer les situations pré-opérationnelle et opérationnelle sur un large éventail de paramètres biotiques et abiotiques. Un contrôle supplémentaire a été envisagé entre zones affectées et non affectées par le fonctionnement de la centrale.

Les données récoltées avant le démarrage de la centrale et pendant le fonctionnement avec deux tranches constituent une série temporelle très utile pour dégager les principaux facteurs de faisabilité qui interviennent dans les divers compartiments de l'écosystème (AMBROGI, 1985).

Le régime hydrologique du fleuve a une influence décisive sur les communautés biologiques de toute la zone étudiée, soit directement (p e. par dilution des eaux marines), soit par l'intermédiaire de la charge en matière particulaire et dissoute. Quelques exemples ont été choisis pour montrer des variations liées au débit du fleuve : les indicateurs de pollution, la présence de microorganismes pathogènes, le transport de zooplancton, la migration de juvéniles d'anguille et l'abondance du macrobenthos lagunaire.

Le problème, de nature appliquée, consistant à établir un état de référence dans cet environnement très variable, conduit à examiner des questions théoriques fort complexes ayant trait aux mécanismes d'adaptation des communautés aux facteurs principaux de «stress» qui perturbent le cycle annuel typique.

BIBLIOGRAPHIE

AMBROGI (R), 1985 — Ecologia del Delta del Po. Atti del Seminario di Studi. Università di Parma, 11, e 12 aprile 1985. *Nova Thalassia*, 7 (suppl. 2) . 1-454.

QUELQUES OBSERVATIONS SUR LA PONTE DE L'ANCHOIS DANS LA ZONE DU DELTA DE L'EBRE

Isabel PALOMERA et Ana SABATES

Instituto de Ciencias del Mar Barcelone

On possède quelques travaux sur la préférence de l'anchois pour la zone littorale et même pour les zones estuariennes, au moment de la ponte (FURNESTIN et FURNESTIN, 1959 ; RE, 1984). La tolérance aux basses salinités des oeufs de cette espèce est, par ailleurs, bien connue (DEMYR, 1965).

Nous avons effectué une étude de la ponte de l'anchois dans la zone du delta de l'Ebre, tant sur le plateau continental que dans la baie de Los Alfaques, en mai, juillet et septembre 1983. Les prélèvements ont été réalisés avec deux engins de type Bongo, de 40 à 20 cm de diamètre, à l'extérieur et à l'intérieur de la Baie.

Sur le plateau continental nous avons observé que l'abondance des oeufs était maximale en mai et que les concentrations les plus élevées apparaissaient dans les stations les plus éloignées du delta, tandis qu'en juillet l'abondance décroissait et que les valeurs maximales se retrouvaient à proximité de la côte. En septembre, la ponte avait considérablement diminué et les oeufs étaient très dispersés.

Pour ce qui est des valeurs trouvées dans la baie, on doit remarquer qu'elles sont très semblables à celles observées dans les stations les plus côtières du plateau continental particulièrement pendant les mois de mai et de juillet tandis qu'en septembre, les valeurs relevées à l'intérieur de la baie sont plutôt supérieures. En général, on observe que les valeurs les plus élevées apparaissent à l'entrée de la baie et diminuent vers l'intérieur. On doit remarquer que, en début de la grande quantité d'oeufs récoltée dans la baie, on a observé seulement deux larves, en juillet.

ASPECTS DE LA CHAÎNE TROPHIQUE (PHYTO-ZOOPLANCTON) DANS UNE «VALLE» DU DELTA DU PO (MER ADRIATIQUE NORD-OCCIDENTAL)

C. ANDREOLI, C. TOLOMIO, L. GUGLIELMO(1), S. ZORZETTO e A. TONELLO(2)

(1) Dipartimento di Biologia, Università di Padova, Italia
(2) Dipartimento di Biologia Animale ed Ecologia Marina, Università di Messina, Italia

On a fait cette recherche de Mai à Septembre 1985 en «Valle Bagliona» (Porto Levante, Rovigo) : un bassin d'une superficie de 2,5 ha a été destiné à l'élevage de *Penaeus japonicus*, en utilisant pour son développement la biomasse produite par les premiers maillons du cycle de la circulation de la matière vivante, périodiquement activés par la fertilisation des eaux. Le but de ces recherches a été d'identifier les espèces phytoplanctoniques et zooplanctoniques qui représentent les maillons intermédaires dans la chaîne de production du macrobenthos constituant la nourriture de *Penaeus japonicus*. On a aussi étudié la qualité des eaux à l'extérieur du bassin, pour enquêter sur leur apport soit en ses nutritifs, soit en plancton ; ceci puisqu'on a périodiquement déversé de l'eau dans le bassin d'élevage pour maintenir constant son niveau (70 - 80 cm environ).

Les résultats ont mis en évidence l'influence des eaux déversées sur les caractéristiques écologiques et biologiques du bassin. Les eaux extérieures se sont révélées plus riches en sels nutritifs que les eaux du bassin d'élevage, exception faite pour les périodes de fertilisation. Ces teneurs élevées en sels nutritifs ont provoqué un développement important de la biomasse phytoplanctonique et, par conséquent, zooplanctonique ; cette biomasse s'est révélée plus considérable dans le bassin d'élevage seulement lorsque les eaux étaient fertilisées et que l'exigence de nourriture de *Penaeus japonicus* était encore modeste.

Soit à l'intérieur, soit à l'extérieur du bassin d'élevage on a trouvé un nombre réduit d'espèces phytoplanctoniques, comme on peut l'observer dans un milieu eutrophisé. Les espèces les plus significatives sont, parmi les Bacillariophycées, *Skeletonema costatum* (Grev.) Cl., *Cyclotella* sp. e *Thalassionema nitzschioides* Grun. ; parmi les Dinophycées, *Prorocentrum minimum* (Pab.) Sch., *Gymnodinium aeruginosum* Stein, parmi les Chlorophycées, *Chlorella nana* Andr. Rasc. Cas. La présence de picoplancton est apparue constante et massive (de 15 à 800 millions de cellules par litre).

* Ce travail a été effectué avec le concours du C N R dans le cadre du P F IPRA, Sottoprogetto 1

Le zooplancton s'est révélé très abondant en Mai, à cause de la concentration de *Calanipeda aquaedulcis* Kritz et des larves de Gastéropodes et de Cirripèdes et, en Septembre, pour la présence des Ostracodes

DISTRIBUTION OF AMPHIPODS AND TANAIDACEANS (Crustacea, Peracarida) INHABITING *RITYPHLOEA TINCTORIA* (Clem.) C. Ag. AEGAGROPHYLA IN THE STAGONE SOUND (W. SICILY)

Maria Pia SPARLA*, Maria Beatrice SCIPIONE**, Silvano RIGGIO*

* *Laboratorio di Ecologia, Istituto di Zoologia dell'Università Palermo (Italy)*

** *Laboratorio di Ecologia del Benthos, Stazione Zoologica di Napoli, Ischia (Italy)*

The central and southern part of the «Stagnone di Marsala» is characterized by a thick layer of aegagrophyla-form brown and red algae. The most abundant species, *Rityphlaea tinctoria* (Clem.) C. Ag , which grows on such Porifera as *Ircinia variabilis* (Schmidt) and *Geodia* sp., rolls on soft bottoms drifting under the impact of water motions. A 12-month study was conducted on the aegagrophyla vagile fauna of this area to investigate their role in the benthic lagoon system. The fauna is very rich. Peracarida were constantly present and represent 53.09 % of the total fauna : Amphipoda and Tanaidacea being particularly abundant with 28 species and 1349 individuals for the former and 5 species and 2467 individuals for the latter.

The most abundant Amphipod families were : 1) Gammaridae (8 species). These were the most representative and they presented an uniform distribution throughout the year, with a slight maximum in summer (57,7 %), this trend was primarily due to *Elasmopus pocillumanus* (BATE) and *Maera inaequipes* (COSTA). 2) Lysianassidae (3 species). These presented a maximum in spring (38 %) ; the high abundance of this family was due to *Lysianassa longicornis* LUCAS. 3) Aoridae (6 species). These showed the highest abundance, due to *Leptocherirus guttatus* (GRUBBE), in autumn (42,6 %). Among the Tanaidacea, the species *Leptochelia savigny* (KROYER) (87,22 %), *Apseudes cf. latreillei* (M. EDW.) (49,68 %) and *Parapseudes latifrons* (GRUBE) (81,67 %) were present virtually throughout the year, showing the maximum number of individuals in autumn, spring and summer, respectively. A competitive exclusion is probably present between Amphipoda and Tanaidacea. In fact complementary cycles of abundance appear from seasonal trends of population densities. Therefore an equilibrium seems to exist in the system. The seasonal fluctuation and the presence of individuals of different ages seem to indicate that *R. tinctoria* represents not only a temporary refuge, but also a preferential habitat for Amphipoda and Tanaidacea under the stressed environmental conditions of the «Stagnone di Marsala». It would be interesting to verify if this is true for the other aegagrophyla species

IDROLOGIA ISOTOPICA DELLA SICILIA : I LAGHI COSTIERI DI VENDICARI

Fabio BADALAMENTI (*), Gaetano DONGARRA (**), Francesco PARELLO (**)

(*) Assessorato Territorio e Ambiente - Regione Siciliana - Viale della Regione Siciliana 2226 – 90135 Palermo (Italia).

(**) Istituto di Mineralogia, Petrografia e Geochimica - Via Archirafi 36 – 90123 Palermo (Italia)

Gli stagni di Vendicari (Sicilia sud-orientale) noti con il nome di Pantano Roveto, Pantano Piccolo e Pantano Grande, si estendono rispettivamente per circa 1 2, 0.2 e 0.4 km² e distano poche decine di metri dal Mar Ionio. La loro profondità media è di circa 40 cm. e non presentano emissari. Le precipitazioni medie su l'area sono di 380 mm/anno, prevalentemente nel periodo Ottobre-Marzo

Le acque degli stagni vengono progressivamente concentrate per evaporazione raggiungendo alti valori di salinità, ed in un caso (Pantano Grande) fino a totale disseccamento. I sali disciolti sono di origine marina. Viene qui riportata l'evoluzione della composizione isotopica delle acque dei tre stagni durante un ciclo annuale. L'intensa evaporazione produce nelle acque un considerevole arricchimento in isotopi pesanti, ed i valori di $\delta^{18}O$ e δD nel tempo si allineano lungo una retta di pendenza 2 8, caratteristica di corpi d'acqua evaporanti in condizioni climatiche di semi-aridità

I differenti contributi al regime idrico degli stagni si riflettono in una diversità nelle velocità di arricchimento o impoverimento isotopico. In particolare, le precipitazioni atmosferiche costituiscono una cospicua frazione del volume totale d'acqua presente negli stagni

Relativamente al Pantano Piccolo viene proposto un modello esplicativo delle interazioni fra le varie fonti di alimentazione dello stagno : acque sotterranee, acqua marina, precipitazioni atmosferiche.

BIOMASSE ET PRODUCTION DU MAILLON PRIMAIRE D'UN MARAIS SALANT DE CAMARGUE

Joelle CLASIÈRE

Institut de Biogéochimie Marine. Ecole Normale Supérieure. 1, rue Maurice Arnoux – 91120 MONTROUGE

Dans un marais salant en activité, un cycle annuel d'études (12 à 17 campagnes) a été réalisé (Biomasse et production du microphytobenthos et du phytoplancton, teneurs en majeurs et en nutriments). L'exploitation salinière est saisonnière : en automne redistribution des eaux, en hiver stockage et au printemps redistribution avant le remise en eau. D'avril à octobre, la saline fonctionne, chaque clos se voit attribuer une salinité constante ce qui crée un gradient de chlorinité marqué (de 21 à 170 g/l de Cl).

Lors de la concentration, on observe classiquement la précipitation successive des sels : carbonate de calcium (station 3 et 6), sulfate de calcium (station 13) et enfin le chlorure de sodium pour des chlorinités de 170 g/l (station 14). Il est récolté en octobre sur les tables salantes (station 15).

Les **rapports ioniques aux chlorures** sont utilisés pour déterminer l'**hydrodynamique** des clos, complexe en automne et en hiver de par l'introduction de masses d'eau ayant précipité un ou plusieurs sels, l'arrivée catastrophique d'eau de mer etc..

Les teneurs en nutriments sont le résultat de deux processus, la concentration le long du gradient et la consommation par les organismes. D'une manière générale les concentrations dans l'eau libre et dans l'eau interstitielle sont à l'équilibre, cependant l'interface eau/sédiment constitue parfois une barrière, active à certaines périodes de l'année. La salinité élevée de ces masses d'eau entraîne pour certains éléments (phosphates) une réactivité chimique qui se traduit par la formation de complexes.

Le microphytobenthos est largement dominant en biomasse et en assimilation photosynthétique (APS). Mais en productivité la situation est inversée et le phytoplancton domine. La concentration en chlorophylle *a* active (LORENZEN) ne donne pas une bonne image de la biomasse surtout phytoplanctonique, les pigments dominants de ces milieux sont les **caroténes** puis en deuxième position la chlorophylle *c*. C'est pourquoi on utilise comme indicateur de biomasse la teneur en pigments totaux. Les valeurs de productivité totale obtenues montrent un nivellement des écarts entre phytoplancton et microphytobenthos

Le potentiel hétérotrophe exprimé par l'assimilation non photosynthétique de la C^{14} (ANPS) est important et traduit l'existence d'un compartiment bactérien actif dans l'eau libre que dans le sédiment.

En conclusion, l'hypothèse selon laquelle les milieux sursalés sont de futurs lieux de genèse du pétrole ne peut pas être étudiée dans les milieux artificiels des régions tempérées. Les deux conditions nécessaires soit la production massive de matière organique et son accumulation par blocage des décomposeurs (compartiment bactérien) ne sont pas remplies. Ceci est probablement lié à l'existence de conditions particulières (alternance saisonnière) qui concurrencent l'effet bloquant des salinités élevées sur les décomposeurs et limite le taux de renouvellement des populations les mieux représentées c'est-à-dire le microphytobenthos.

BIONOMIE DES POLYCHÈTES SERPULOIDEA DANS LES LAGUNES CÔTIÈRES ITALIENNES

Carlo Nike BIANKI et Carlo MORRI

ENEA-CREA S. Teresa, CP 316, I — 19100 LA SPEZIA, Italia

Les différences climatiques et hydrologiques entre les lagunes nord-adriatiques («sub-atlantiques») et tyrrhéniennes (typiquement méditerranéennes) se reflètent dans leurs peuplements serpulidiens. Dans les lagunes nord-adriatiques, *Janua pagenstecheri* et *Pomatoceros triqueter* sont beaucoup plus abondantes que leurs congénères respectives *J. pseudocorrugata* et *P. lamarcki*, les espèces endémiques méditerranéennes y sont absentes. La situation opposée se vérifie dans les lagunes tyrrhéniennes (BIANCHI, 1985).

Les distributions des Serpuloidea ont été comparées dans les deux lagunes de Venice et Orbetello, les plus riches en espèces, et les schémas qui en ressortent sont comparables. *Ficopomatus enigmaticus* est très abondant dans des eaux oligo- à hyperhalines, calmes, eutrophiques ou même polluées. *Hydroides dianthus* et les deux espèces de *Janua* dominent sous des conditions mésologiques moins sévères. *Vermiliopsis striaticeps*, souvent avec *Serpula concharum* est fréquente dans les zones intérieures calmes et marnisées ; les deux espèces de *Pomatoceros* sont inféodées aux graus où les courants sont parfois forts.

BIBLIOGRAPHIE

BIANCHI (C. N.), 1985. — Biogéographie des lagunes méditerranéennes d'après la distribution des Polychètes Serpuloidea. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 29 (4) : 39-40.

A MEDITERRANEAN ESTUARINE GRADIENT : THE RIVER DESE (NORTHERN ADRIATIC SEA, LAGOON OF VENICE)

Renato SCONFIETTI

Dip. Gen. Microb., Sez. Ecologia, Università P. za Botta, 10 — I-27100 PAVIA, Italia

Spatial distribution of estuarine populations in the Mediterranean Sea has been studied in the only zone where a comparatively important tide (cm 80-100) and a rich hydrography allow the making of an appreciable chemical-physical gradient : northern Adriatic Sea. We choose the little river Dese, which flows into the Venice lagoon North of Torcello island and is canalized among schorres («barene») for about km 14 down to the sea.

On wooden piles we sampled Amphipod, Isopod and Tanaid Crustaceans, respectively represented by 26, 8 and 3 species with different ecology.

STATION 1 (km 14 from the sea ; S‰ 0-8 ; 8 species) and STATION 2 (km 12.5 , S‰ 2-15 ; 11 species) are colonized by a little contingent of elements, all closely binded to oligohaline and sometimes fresh water.

In STATION 3 (km 10.9 ; S‰ 10-20; 15 species) and STATION 4 (km 9.6 ; S‰ 18-28 ; 15 species) a few «marine» species appear, not abundant but constantly present down to the sea. The species of the first two stations are almost desappearing.

STATION 5 (km 8.3 , S‰ 21-27 ; 20 species) offers an intermediate stage between the typical estuarine zone, in the upper part of the environmental gradient, and the lower one, directly influenced by sea water. Other species appear, which will characterize the next stations.

STATION 66 (km 6.5 ; S‰ 23-30 ; 25 species) and STATION 7 (km 4.4. ; S‰. 26-32 ; 25 species) are marked by a group of elements directly connected with marine environnement or anyhow with well vivified lagoons.

In STATION 8 (km 2 ; S‰. 29-35 ; 21 species) only marine species are present. Their number decreases, probably because of the pollution due to frequent manoeuvres of different kind of boats.

REFERENCES

SCONFIETTI (R.), 1986. — Ecologia e dinamica in popolamenti estuariali di Crostacei Peracaridi (fiume Dese, Laguna di Venezia) Ph. D. Thesis, University of Parma, Italy

CRUSTACÉS, AMPHIPODES DE LACS CÔTIERS DU LATIUM (ITALIE)

Ester TARAMELLI, Silvia PEZZALI, Laura VENANZANGELI

Ist. Zoologia Dip. B.A.U. - Università «La Sapienza» Roma Viale Università 32 — 00100 ROMA (Italia)

Dans le cadre d'une vaste recherche écologique concernant 5 lacs côtiers du Latium (Fogliano, Monaci, Caprolace, Fondi et Lungo) on a analysé leur peuplement de Crustacés Amphipodes. Les échantillonnages ont été effectués, suivant les saisons, de mai 1982 à janvier 1984 au moyen d'une benne Van Veen en 33 stations choisies dans les cinq lacs. Sur 264 échantillons on a trouvé 33.500 Amphipodes appartenant à 21 espèces, 16 genres et 9 familles. Ce sont surtout les espèces typiques des milieux mixohalins méditerranéens qui sont les plus répandues et abondantes, telles *Corophium insidiosum* Crawford et *Gammarus insensibilis* Stock présents dans tous les lacs, *Gammarus aequicauda* (Martynov) absent seulement dans le lac de Fogliano, Monaci, Caprolace. Les autres espèces appartenant en principe aux biocénoses à algues photophiles de l'infralittoral supérieur se trouvent dans le lac de Caprolace ou dans les bouches. Chaque lac, pour ce qui concerne le peuplement à Amphipodes, présente une physionomie particulière qui reflète bien ses conditions écologiques et surtout le degré de «confinement». Le lac de Caprolace qui peut être considéré en effet comme une baie marine, est le lac où on a retrouvé le plus grand nombre d'espèces (16), dominées par *Gammarella fucricola* (Leach) ; dans le lac Lungo, par contre, le peuplement est presque monospecifique, étant constitué dans la mesure de 97,3 % par *Corophium insidiosum*. *Microdeutopus gryllotalpa* prédomine dans le lac de Fogliano, *Corophium insidiosum* dans le lac Monaci, *Gammarus insensibilis* dans le lac de Fondi. On remarque même des différences stationnelles et saisonnières dans la composition du peuplement de chaque lac.

Les Crustacés Amphipodes qui, avec les Polychètes, représentent l'élément dominant du peuplement animal de ces lacs côtiers, constituent donc des bons indicateurs écologiques, qui

contribuent à mettre en évidence les caractères de ces intéressants biotopes

LE RÔLE DE LA MACROFAUNE DANS LA MISE EN LIBERTÉ DES SELS NUTRITIFS DES SÉDIMENTS DE LA LAGUNE DE VENISE

Romano DONAZZOLO et Adriano SFRISO

Dipartimento di Scienze Ambientali, Università di Venezia Calle Larga S. Marta 2137 — VENEZIA 30123 (Italia)

Dans le cadre d'une recherche tendant à évaluer les quantités de sels nutritifs relâchés par les sédiments de la lagune de Venise, nous avons conduit deux expériences dans un réacteur de dimension 30 cm × 40 cm × 80 cm, rempli sur une hauteur de 40 cm avec du sédiment tamisé au travers de mailles de 1 mm².

Deux expériences ont été réalisées : la première sans macrofaune, la deuxième avec macrofaune (environ 7 g, poids sec).

Les résultats obtenus sont les suivants :

1) Les sédiments totalement troublés retrouvent les caractéristiques typiques (densité, compacté, Eh, etc.) du sédiment naturel après environ 8 jours, avec un profil plus régulier du Eh par comparaison avec ceux mesurés dans un sédiment naturel de même épaisseur restant soumis à la nature particulière des diverses couches déposées à des périodes différentes.

2) Le relargage des sels nutritifs des sédiments se produit avec une augmentation de leur concentration laquelle, dans la phase initiale, présente un développement presque linéaire avec le temps.

3) Dans la phase initiale de chaque expérience, la forme azotée présentant la plus grande concentration est NH_4+ et celle-ci est, par la suite, oxydée en NO_2- et NO_3+, avec le développement d'une mince couche superficielle de microfaune bactérienne.

4) La bioturbation augmente les valeurs de flux des sels nutritifs vers l'eau surnageante d'un ordre de grandeur pour l'azote (0.34 - 4.72 et 2.05-49 4 mmoles/j × m²) et de 2 à 4 fois pour le phosphore (0.09 - 0.23 et 0.25 - 1.12 mmoles/j × m²) par rapport aux vitesses de relargage observées dans des sédiments non bioperturbés.

L'ESTUAIRE DE LA TÊT : UNE LAGUNE NATURELLE GÉNÉRATRICE D'UNE POLLUTION SPORADIQUE DES PLAGES LITTORALES

Catherine SABATE, Henri SALVAYRE et Bernard THEVENARD

I.U.T. Biologie Appliquée, Option Génie de l'Environnement, Laboratoire de Synthèse Organique Appliquée, Chemin de la Passio Vella — 66025 PERPIGNAN CEDEX

La première partie décrit la topographie de l'estuaire de la Têt et précise les caractères physiques, chimiques et microbiologiques des eaux. La seconde partie montre le rôle particulier joué par l'estuaire en tant que lagune tertiaire. La troisième précise l'orientation des écoulements de l'estuaire en fonction des vents et les plages affectées.

L'ensemble montre un aspect des relations d'interdépendance entre l'action polluante des collectivités urbaines sur un système naturel qui engendre lui-même une modification de l'utilisation d'un milieu ludique : les plages.

DÉTERMINISME DE L'ALEVINAGE DES LAGUNES

C. BOURQUARD (1, 2) et K. BENHARRAT (2)

(1) *Association MYSIS - 25 Bd. Jeanne d'Arc — 11590 CUXAC D'AUDE*
(2) *Laboratoire d'Ichtyologie et Parasitologie Générale U.S.T.L. — 34060 MONTPELLIER CEDEX*

L'alevinage naturel des lagunes apparaît comme une succession tout au long de l'année d'entrées d'oeufs, de larves et d'alevins. On peut facilement en dresser un calendrier. Cependant, la capture d'une recrue à un stade ontogénique précis n'est que le résultat d'une histoire naturelle qui a débuté lors de la ponte. Cette histoire naturelle de l'alevin est caractérisée par des déplacements passifs ou actifs en fonction des stades ontogéniques. Ce sont les variables temps et espace qui interviennent dans le déterminisme de l'alevinage en réalisant ou en ne réalisant pas le trajet du site de ponte jusqu'à l'entrée en lagune. On retrouvera toutes ces variables à tous les niveaux d'étude, particulaire, local et régional.

La réussite de l'alevinage va donc résulter de la coincidence entre la possibilité de développement de l'individu dans la lagune et sa présence devant celle-ci. Cette notion de coincidence permet d'expliquer la structure du peuplement ichtyologique lagunaire et de définir ce que peut être une population lagunaire.

LA PÊCHERIE D'ANGUILLES DES LAGUNES DU LANGUEDOC-ROUSSILLON STRUCTURE DÉMOGRAPHIQUE DES POPULATIONS EXPLOITÉES

Raymonde LECOMTE-FINIGER et Achmar MALLAWA

Université de Perpignan, Laboratoire de Biologie Marine

L'anguille *Anguilla anguilla* apparaît comme la principale espèce exploitée dans les lagunes du Languedoc-Roussillon, soit environ 75 % de la production lagunaire. Sa pêche s'est considérablement développée à partir de 1970 mais sa production a sensiblement diminué depuis 1978, les causes principales pouvant être recherchées dans l'accroissement excessif de l'effort de pêche, l'engin de capture traditionnel étant le verveux ou capetchade.

Les captures actuelles portent essentiellement sur des juvéniles (anguillettes jaunes de 19 à 36 cm qui correspondent aux classes d'âge II à IV). Les anguilles argentées ont considérablement diminué dans les pêches lagunaires. Un tel déclin se traduit par une perte économique compte tenu de leur valeur marchande, et risque surtout de mettre en péril le potentiel génésique de l'espèce.

BIBLIOGRAPHIE

LECOMPTE (R.) et BRUSLE (J.), 1984. — L'Anguille *A. anguilla* des lagunes du Languedoc-Roussillon : intérêt biologique et valeur halieutique. *Vie et Milieu*, 34 (4) : 185-194.

QUELQUES DONNÉES PRÉLIMINAIRES À UNE ÉTUDE DES PINS SPONTANÉS OU SUBSPONTANÉS DU LITTORAL DU GOLFE DU LION

Brigitte BASTIDE

Laboratoire de Systématique et Écologie méditerranéenne
Institut de Botanique 163 rue A. Broussonet — 34000 MONTPELLIER

Sur le littoral du Golfe du Lion nous trouvons à l'état spontané ou subspontané : *Pinus pinaster* Aiton subsp *pinaster* ou «Pin maritime mésogéen», *Pinus pinea* L. ou «Pin pignon» et *Pinus halepensis* Miller ou «Pin d'Alep».

Ces pins doivent faire face à de nombreuses adversités spécifiques à ce milieu (embruns, enseveliissement par le sable, grands froids, tempêtes, longues périodes de sécheresse estivale).

Parallèlement aux espèces présentes sur des segments successifs, nous avons relevé, le long d'une bande de 5 m de part et d'autre de cette ligne, la position et la circonférence à la base de chaque pin rencontré, afin de distinguer parmi les groupements végétaux, dans lesquels survivent des adultes, des «groupements à régénérations nombreuses», «à régénérations peu nombreuses» ou «à régénérations nulles» pour chacun des trois pins considérés.

Nous avons pu en déduire des caractéristiques de milieu propres à la régénération de ces peuplements. Ainsi pour *P. pinea*, marquant une préférence pour le *Crucianellietum maritimae* et l'*Artemisio-Teucrietum maritimi*, le sol doit être sec, non salé avec un recouvrement de végétation faible mais un sable de surface peu mobile cependant (les régénérations sont absentes de l'*Ammophiletum arundinaceae*). Pour *P. pinaster*, le sol doit être plus humide, non salé, la végétation herbacée peut y être dense (*Holoschoenetum romani* principalement). *P. halepensis* pour sa part semble indifférent à l'humidité et tolère un sol plus salé que les deux autres mais avec un sable peu mobile également (nous avons trouvé des jeunes dans l'*Agropyreto-Inuletum crithmoidis* en plus des groupements cités pour les autres).

Les trois principales variables qui déterminent la survie des plantules sont donc l'humidité du sol, sa salinité et le degré de recouvrement de la végétation

Une expérience en laboratoire a eu lieu en vue de déterminer l'action de la salinité du substrat sur la germination des graines des trois pins étudiés : *P. halepensis* paraît également le moins sensible au sel.

LE DÉPÉRISSEMENT DES FORÊTS DE PINS PIGNONS DU LITTORAL DE PETITE CAMARGUE (FRANCE). CAUSES ET REMÈDES

Pierre HEURTEAUX

C.N.R.S. Laboratoire d'hydrobiologie
Université de Provence — MARSEILLE

Les dunes du littoral de la Petite Camargue portent une forêt de Pins pignons dans laquelle on rencontre le Pin d'Alep et un sous-bois arbustif très dense. Le dépérissement de la population de Pins pignons, amorcé il y a une vingtaine d'années, s'est nettement aggravé depuis 1982

Ce dépérissement paraît induit par l'action conjuguée de deux causes principales . 1) l'insuffisance des ressources en eau douce et la rigueur de la sécheresse estivale, 2) le vieillissement de la population de pins pignons. Les réserves en eau douce du sol ne sont pas suffisantes pour assurer l'alimentation minimale des plus grands arbres qui subissent une fragilisation progressive et deviennent très sensibles aux agressions occasionnelles (intrusions salines lors des tempêtes, parasites, sécheresse accrue, froids intenses etc).

Les dunes ne sont toutefois pas vouées au déboisement total En effet les jeunes pins pignons sont peu atteints et le pin d'Alep résiste bien à la sécheresse physiologique. On peut régénérer la forêt 1) en enlevant les arbres morts ou mourants sans bouleverser le biotope, 2) en luttant contre les parasites (blastophages, chenilles processionnaires), 4) en favorisant l'extension du pin d'Alep (reboisements), 4) en pratiquant une adduction d'eau douce

IL RAPPORTO AMBIENTE-ZOOBENTHOS IN ALCUN ZONE DEL PROMONTORIO DI PORTOFINO (Riviera ligure di Levante)

Daniela PESSANI, Fulvio PONCINI
e Carlo Alberto ROBOTTI

Dipartimento di Biologia Animale dell'Università
Via Accademia Albertina, 17 — 10123 TORINO (Italia)

Allo scopo di fornire dati ambientali e faunistici sui fondali antistanti il promontorio di Portofino, dal giugno 1981 al marzo 1982 sono state effettuate campagne di raccolta di campioni di acqua (per l'analisi di salinità, tenore di ossigeno disciolto, pH e temperatura) e di materiale bentonico. I campioni sono stati prelevati in 7 differenti stazioni di raccolta, situate lungo la costa, alle profondità di 8, 10, 12, 20 e 35 m.

L'esame dei campioni bentonici ha portato al rinvenimento di 131 specie animali, delle quali si è potuta evidenziare la distribuzione nell'area considerata e nel corso dell'anno. Per poter operare un confronto obiettivo tra i dati dei diversi campionamenti, sono stati utilizzati l'indice di ricchezza specifica di Drach e quelli di similitudine intrastazionale di Sorensen e Kulczynski. Gli indici considerati ripartiscono le stazioni (in base ai relativi popolamenti) nelle stagione estiva sopratutto in relazione alla profondità, mentre in quella invernale in relazione all'ubicazione, ovvero se poste in zone a moda riparata o battuta. Quindi particolarmente importante risulta l'esposizione di una zona e di conseguenza l'idrodinamismo a cui è sottoposta : questo sarà tanto più accentuato d'inverno, quando il mare è più frequentemente agitato. D'estate riveste invece maggior importanza la profondità : l'idrodinamismo è meno accentuato e l'esposizione alla luce e la forte illuminazione giocano il ruolo predominante. Si può inoltre notare come l'autunno sembri essere un periodo di transizione, nel quale i dati appaiono distribuiti entro limiti meno netti

PRÉSENCE D'ÉLÉMENTS TRACES CHEZ DEUX ESPÈCES D'OISEAUX VIVANT EN CAMARGUE : L'AIGRETTE GARZETTE, *EGRETTA GARZETTA* (L.) LE FLAMANT ROSE, *PHOENICOPTERUS RUBER* (PALLAS). FLUCTUATIONS INDIVIDUELLES ET ORGANOTROPISME

par Richard COSSON(1), Jean-Claude AMIARD(2)

(1) U.A. C.N.R.S. 690, Bât. 442 Univ. Paris-Sud — 91405 ORSAY Cedex
(2) Centre de Dosage des Éléments Traces, Univ. de Nantes, 1, Rue G. Vair — 44035 NANTES Cedex (France)

Durant l'hiver 1984-85, dix individus des deux espèces ont été récoltés et nous avons dosé six éléments (Cd, Cu, Hg, Pb, Se, Zn) dans neuf organes (foie, reins, muscle, poumons, os, estomac, gésier, rate et plumes).

Chez les deux espèces, nous observons des fluctuations individuelles importantes des concentrations de Cf, Hg, Pb et Se pour tous les organes et des variations plus limitées pour Cu et

surtout pour Zn, éléments vraisemblablement mieux régulés par les Oiseaux.

L'étude des corrélations entre quatre organes (foie, reins, estomac, poumons) a été réalisée pour chaque élément. Elle met en évidence chez les Flamants qu'un individu présentant de fortes concentrations d'un élément (à l'exception de Zn) dans un organe, présentera également de fortes concentrations de cet élément dans les autres organes. La pénétration des éléments traces pourrait donc être à la fois nutritionnelle et aérienne. Par contre, chez les Aigrettes, les corrélations significatives, rares pour les poumons, concernent essentiellement l'estomac et le foie pour Cd, Cu, Hg et Se, pouvant traduire une prédominance de la voie alimentaire.

Les corrélations élément-élément rares chez les Aigrettes, sont positives chez les Flamants entre Se-Pb, Se-Cd, Se-Hg, Cd Hg et Cu-Zn pour plusieurs organes. Ceci pourrait traduire une pénétration et des voies de métabolisation et de stockage semblables pour les couples d'éléments cités.

Parmi les organes, les concentrations les plus élevées sont observées chez les deux espèces dans le foie et les reins pour Cd, Cu, Hg, Se et Zn (rôles dans la métabolisation et l'excrétion). Les importantes concentrations de plomb mises en évidence au niveau des os et des plumes des deux espèces résultent des processus de stockage et/ou d'élimination de ce métal.

En conclusion, certains individus des deux espèces ont des concentrations en Cr, Hg, Pb et Se nettement plus élevées que la moyenne, pouvant traduire une contamination de ces animaux et une pollution de certaines aires de leur biotope.

SIGNIFICATION DES ZONES CÔTIÈRES DU BASSIN MÉDITERRANÉEN OCCIDENTAL POUR LA SURVIE DES POPULATIONS DE CANARDS ET DE FOULQUES

Alain TAMISIER
C.E.P.E. Louis Emberger,
CNRS Camargue, Le Sambuc — 13200 ARLES

Les zones littorales (deltas et lagunes) abritent en France et sur l'ensemble de la région Méditerranée-Mer Noire 50 à 75 % des populations hivernants de canards (Anatidés) et 40 à 60 % des populations de foulques (Rallidés). Ce phénomène de concentration sur les milieux côtiers se double d'un regroupement massif sur des espaces privilégiés appelés «quartiers d'hiver» qui peuvent rassembler plusieurs dizaines ou centaines de milliers d'oiseaux. Ainsi dans le bassin occidental de la Méditerranée (Espagne, France, Italie et Maghreb), 0,5 million de canards et 0,2 million de foulques sont concentrés en hiver sur 5 à 6 localités seulement, dont l'Ichkeul (Tunisie), la Camargue (France) et El Kala (Algérie).

Ces rassemblements sur des quartiers d'hiver bien définis et traditionnels ne sont ni fortuits ni déterminés par des facteurs anthropiques. Ils sont la réponse adaptative des ces espèces à un ensemble de paramètres environnementaux (notamment l'imprévisibilité de la distribution spatiale des ressources alimentaires qui favorise la constitution de «centres d'informations», et la pression exercée par les prédateurs aviens qui favorise le grégarisme pour une meilleure défense individuelle). Ces paramètres induisent des exigences sociales et spatiales à travers lesquelles sont satisfaites les exigences alimentaires, les exigences en matière d'activités de confort et l'indispensable formation hivernale des couples.

La concentration des quartiers d'hiver sur les zones côtières semble liée à 4 facteurs :

1) L'alternance, le mélange et/ou la contiguïté des eaux douces, saumâtres et salées sont des facteurs d'enrichissement des zones côtières, ne serait-ce qu'en terme de diversité écologique dans l'espace et dans le temps. Ces conditions liées à l'importance considérable des surfaces sur lesquelles elles s'exercent (plusieurs dizaines de milliers d'ha) déterminent une multiplicité d'habitats favorables à la forte diversité spécifique des peuplements d'oiseaux d'eau, et une productivité telle que les milieux peuvent servir de support alimentaire à des effectifs très élevés.

2) Le profil bathymétrique très atténué des zones côtières et les fréquentes variations de niveau d'eau (pluies torrentielles, vent qui fait basculer les plans d'eau, évaporation) garantissent à tout moment la disponibilité de milieux dont la profondeur correspond à l'optimum écologique des différentes espèces (0 à 200 cm). On notera que le caractère aléatoire des variations de niveau d'eau sur de tels profils bathmétriques est responsable de l'imprévisibilité de la distribution des ressources alimentaires mentionnée plus haut.

3) Les zones continentales étant à latitude égale, plus froides, sont davantage sujettes au gel qui les rend indisponibles aux oiseaux d'eau. Cette forte probabilité d'indisponibilité rend impossible leur exploitation traditionnelle par les oiseaux.

4) Les zones continentales ont subi depuis plus longtemps le morcellement lié au développement agricole et, à cause de leur trop petite taille unitaire résiduelle, ne sont plus en mesure de servir de véritables quartiers d'hiver.

De cette situation, on retiendra 2 conséquences majeures :

■ L'analyse descriptive et fonctionnelle de tels écosystèmes côtiers ne saurait se faire sans que soit prise en compte leur exploitation par ces peuplements de Vertébrés dont l'imbrication dans le fonctionnement d'ensemble de l'écosystème est totale (exploitation des ressources alimentaires, occupations de l'espace, apports d'éléments arotés, mais aussi par exemple rôle majeur dans le cycle des parasites) et vésse d'autant plus lourds sur le plan énergétique que leur biomasse est considérable.

□ La survie de ces populations migratrices d'origine sibérienne repose sur la pérennité d'un très petit nombre de ces grandes zones côtières par ailleurs sujettes depuis 20-30 ans à des pressions de destruction et de dégradation considérables : grignotement de l'espace pour répondre à des besoins urbains, industriels, agricoles ; intensification des activités humaines (en particulier chasse, mais aussi tourisme) sur les espaces restants.

SYNTHÈSE GÉNÉRALE SUR LE COLLOQUE

Gérard BELLAN
Station Marine d'Endoume — 13007 MARSEILLE

Le premier Colloque franco-italien d'Écologie littorale méditerranéenne s'est réuni à Marseille du 5 au 8 juin 1986, sous l'égide de la Société d'Écologie et de la Società Italiana di Ecologia. La Faculté des Sciences de Luminy et le Centre d'Océanologie de Marseille ont apporté leur précieux concours matériel à cette manifestation.

Au cours du Colloque, 19 Communications orales furent présentées, toutes sur invitation des deux Sociétés savantes. Elles ont été regroupées en 5 séances qui ont permis plus de 2 heures de présentations, d'échanges et de débats suivis constamment par une centaine de participants. Dans le même temps, et à titre, en quelque façon, d'illustration des quatre Thèmes essentiels choisis, 19 communications par affichage ont retenu l'attention des participants. Quatre Thèmes avaient été sélectionnés comme pouvant susciter un intérêt général majeur, mais surtout parce qu'ils paraissaient particulièrement incitatifs pour des recherches ultérieures, recherches communes aux scientifiques des deux pays concernés, mais tout autant à des collègues d'autres pays du pourtour méditerranéen.

Ces quatre Thèmes peuvent être rappelés .

— les grands deltas : l'impact des grands fleuves,

— les lagunes méditerranéennes,

— la frange de contact entre la terre et la mer,

— les transferts littoraux en Méditerranée.

Les exposés afférents aux Thèmes avaient été précédés —introduits devrait-on plutôt dire — par deux Conférences d'intérêt général mettant en exergue l'importance des milieux littoraux et la nécessité de leur étude dans une optique multidisciplinaire et multinationale.

Des Rapporteurs désignés nous ont proposés, pour chacun des Thèmes, une Synthèse des exposés et des débats qui ont suivi. Ces débats doivent être considérés comme une contribution essentielle au Colloque et les Rapporteurs les ont, en quelque sorte, fondus avec la substance des exposés. Ces Rapports sont publiés et il serait superflu de les résumer. Aussi me contenterais-je de reprendre leurs propositions essentielles, celles-ci étant, par définition, la conclusion du Colloque et sa prolongation vers d'autres réunions et surtout vers d'autres recherches coordonnées.

Dans le cadre du Thème «Grands fleuves», il a été suggéré de poursuivre des recherches en commun sur le devenir du matériel organique et particulaire, notamment au niveau de leur dynamique et de leur biodégradation Le problème de la standardisation de l'échantillonnage, crucial lorsqu'on veut étudier deux zones géographiques, telles de Pô et le Rhône, a été souligné.

Le Thème «Lagunes méditerranéennes» nous a fourni une très riche conclusion des discussions engagées, en particulier au niveau des concepts de «confinement» et de «domaine paralique» qu'il convient de mieux expliciter. Pour ce faire, des réunions de travail, relativement informelles, entre spécialistes des Lagunes provenant d'horizons et de disciplines divers, sont souhaitées. Enfin, il a été fortement insisté sur le fait que les Lagunes appartiennent à un milieu très convoité (urbanisation, aquaculture, etc...) et méritent, à ce titre, d'être particulièrement surveillées et étudiées en vue de leur utilisation optimisée.

Le Thème «Frange de contact entre la terre et la mer» a permis de confronter les points de vue de spécialistes du domaine terrestre et du domaine marin, ce qui est particulièrement rare et était au coeur même des objectifs du Colloque Les influences réciproques de ces milieux ont pu être bien comprises, sinon totalement explicitées. On a pu, notamment, mettre en évidence le rôle de la mer vis-à-vis du domaine terrestre tant au niveau de la dynamique intrinsèque de groupements végétaux particuliers que l'altération de nombreux autres. On a, aussi, insisté sur la notion de flux dans le sens terre-mer. Zone de conflits par excellence, cette frange est soumise aux influences réciproques des milieux et à celles de l'Homme qui vient bouleverser «l'ordre naturel» des choses. Enfin le Thème «Transferts littoraux en Méditerranée» reprenant nombre de points déjà abordés dans le cadre du premier. Il était, toutefois, largement orienté sur les problèmes de dynamique sédimentaire et de transferts vers le benthos. L'intégration de l'ensemble des paramètres du milieu s'avère indispensable ainsi que la fixation des échelles des Ecosystèmes, problème d'une grande actualité.

Il avait été prévu que ce Colloque traiterait de sujets fondamentaux, concernant les relations croisées entre la terre et la mer, au sein d'une zone littorale dont le soin de définir les frontières avaient été laissé en quelque sorte à l'initiative des scientifiques invités, en fonction des nécessités de leurs disciplines particulières. Il avait été précisé que les aspects pratiques, appliqués, ne seraient pas traités en tant que tels, mais, si besoin était, par référence à ces problèmes fondamentaux Ils ont été, assez généralement, évoqués. Il ne pouvait, d'ailleurs, en être autrement, compte tenu de la pression humaine sur ces milieux littoraux, pression humaine qui date soulignons-le, des origines mêmes de la présence de l'Homme, laquelle n'a plus, depuis lors, cessé de modifier, voire de bouleverser, ces milieux littoraux.

Conscients de cet inéluctable état de fait, les organisateurs du Colloque avaient donné comme «sous titre» à celui-ci : «Mieux connaître pour mieux gérer».

Et c'est délibérément que Conférenciers et intervenants ont, tout au long de ces trois Journées, en plus des présenta-

tions scientifiques de haut niveau, envisagé ces problèmes de «gestion du littoral», de partage de l'espace et de ses ressources, de sa protection et de sa conservation, mais aussi de sa réhabilitation.

C'est en terme de gestion, plus encore qu'en terme de protection, ce qui peut paraître paradoxal pour des Ecologistes fondamentalistes, que les diverses propositions d'actions concertées franco-italiennes se sont concrétisées. Chacun s'est déclaré convaincu que non seulement cette protection, mais aussi la trop souvent négligée reconquête du milieu, ne pouvaient se concevoir que dans le cadre d'une gestion raisonnée d'un espace soumis à trop de contraintes et trop d'agressions. Aussi n'est-il pas surprenant que les participants aient unanimement fait leur la dernière recommandation proposée à la fin de sa péroraison par le Professeur PESSON : «*La diffusion de la recherche doit se faire dans le domaine de l'application*».

ANALYSES D'OUVRAGES

Robert P. McINTOSH. — **The background of ecology. Concept and theory.** Cambridge University Press éditeur, collection «Cambridge studies in ecology». Un volume XIII + 383 pages, paru en 1986. Prix : 12,50 livres sterling (broché). ISBN : 0-521-27087-1.

Il s'agit d'une histoire de l'écologie, essentiellement depuis le début du dix neuvième siècle et dans le monde Anglo-Américain. Malgré ces limitations ce livre est d'un grand intérêt. Il mérite d'être lu par tous les écologistes et par tous ceux qui s'intéressent à l'histoire des sciences. Il renferme une grande quantité de données et de nombreuses références bibliographiques. Le premier chapitre expose les idées qui sont les sources de l'écologie avant que celle-ci ne devienne une science reconnue comme telle. Le chapitre 2 traite de l'émergence de l'écologie entre les années 1980 et 1915 à une époque où se créent les premières sociétés d'écologie. Les chapitres 3, 4 et 5 sont consacrés à la période qui va du début du vingtième siècle jusqu'à 1950. Les chapitres 6 et 7 présentent les développements plus récents qui ont commencé vers 1930 tels que l'étude des écosystèmes ou les approches théoriques. Enfin le dernier chapitre montre les liens qui existent entre l'écologie et les premiers mouvements de conservation de la nature apparus vers 1910 et ceux qui existent actuellement

R. DAJOZ

J.O. REUSS et D.W. JOHNSON. — **Acid deposition and the acidification of soil and waters.** Springer éditeur, Berlin. Un volume VIII + 119 pages paru en 1986. Collection «Ecological studies». Prix 94 DM (relié) : O-387-96290-5.

Les auteurs précisent dans l'introduction que l'un des objectifs les plus urgents pour les scientifiques spécialistes de l'environnement réside dans l'évaluation des effets des pluies acides sur les écosystèmes terrestres et aquatiques. Ces pluies résultent essentiellement de l'apport massif de divers composés oxydés de l'azote et du soufre à la suite des activités humaines. Le cycle et le comportement de ces deux éléments sont rappelés dans deux chapitres préliminaires. L'intérêt du livre est centré sur les écosystèmes pour lesquels les pluies acides sont les plus novices et il en analyse les effets sur la végétation (la forêt en particulier), sur le sol, ainsi que sur les eaux de surface et les eaux souterraines. Sous une forme relativement concise il s'agit d'une très bonne mise au point, claire et bien documentée.

R. DAJOZ

J.R. MILLER et T.A. MILLER (éditeurs). — **Insect-plant interactions.** Springer éditeur, Berlin ; collection «Springer series in experimental entomology». Un volume XII + 342 pages, paru en 1986. Prix : 158 DM (relié). ISBN : 0-387-96260-3.

Les relations plantes-insectes sont un sujet qui intéresse de plus en plus les écologistes et qui suscite de nombreuses recherches. Voici un livre qui apporte d'utiles précisions sur les divers aspects de ces relations. Pour un insecte le végétal peut fournir les ressources suivantes : nourriture, site de reproduction, site de ponte, refuge. Ces diverses catégories fournissent un cadre pour l'étude des relations plantes-insectes. La notion importante de coévolution est apparue lors de cette étude des relations entre insectes et végétaux. Les diverses mises au point présentées dans ce livre sont les suivantes :

— Approaches and methods for direct behavioral observation and analysis of plant-insect interactions.

— Assessing host-plant finding by insects

— The definition and measurement of oviposition preference in plant-feeding insects.

— Assays for insect feeding.

— Postingestive effects of phytochemical on insects : on Paracelsus and plant products

— Bioassays for measuring quality in insect food.

— Nutritional and allelochemical insect-plant interactions relating to digestion and food intake.

— Chemical methods for isolating and identifying phytochemicals biologically active in insects.

— Techniques for evaluating resistance to insects of plants.

— Electrophysiological recording and analysis of insect chemosensory responses.

R. DAJOZ

Annual review of entomology. — Volume 32, 1987. Un volume 559 pages. Annual reviews inc., Palo Alto, California. Prix : 34 dollars (relié). ISBN : 0-8243-0132-3.

Les articles de synthèse publiés dans *Annual review* sont toujours très utiles face à la masse énorme de la bibliographie actuelle. Dans le volume 32 de *Annual review of entomology* les articles suivants se révèlent particulièrement intéressants pour l'écologiste.

Konrad DETTNER : Chemosystematics and evolution of

beetle chemical defenses (analyse de la grande diversité biochimique des substances défensives des Coléoptères en relation avec la phylogénie du groupe).

Daniel J. SULLIVAN : Insect hyperparasitism.

Gonzalo HALFFTER : Biogeography of the mountain entomofauna of Mexico and Central America (étude, par un spécialiste réputé, de la biogéographie de l'entomofaune de l'Amérique centrale)

John S. EDWARDS : Arthropods of alpine aeolian ecosystems (étude de l'écologie des Arthropodes d'un type très particulier d'écosystème).

J.R. FUXA : Ecological considerations for the use of entomopathogens.

W.E. WALLNER : Factors affecting insect population dynamics : differences between outbreak and non outbreak species.

Richard T. ROUSH et John A. MACKENZIE : Ecological genetics of insecticide and acaricide resistance.

T.J. BRADLEY : Physiology of osmoregulation in mosquitoes.

Les autres articles de ce volume sont les suivants :

Berta SCHARER : Insects as models in neuroendocrine research.

E. COHEN : Chitin biochemistry.

B.S. FLETCHER : The biology of Dacine fruit flies.

Thomas M. BROWN et William G. BROGDON : Improved detection of insecticide resistance through conventional and molecular techniques.

Charles L. HOGUE : Cultural entomology.

Michael P. PARRELLA : Biology of *Liriomyza*.

H.P. BROWN : Biology of riffle beetles.

S.C. WILLIAMS : Scorpions bionomics.

Sandra A. ALLAN *et al.* : Visual ecology of biting flies.

W. Harry LANGE : Insect pests of sugar beet.'

Murray S. BLUM : Biosynthesis of Arthropod exocrine compounds.

Robert N. COULSON et Michael C. SAUNDERS : Computer assisted decision making as applied to entomology.

J.M.C. RIBEIRO : Role of saliva in blood feeding by Arthropods.

G.R. DEFOLIART *et al.* : Advances in mosquito borne arbovirus : vector research.

Marcos KOGAN et Samuel G. TURNIPSEED : Ecology and management of Soybean Arthropods.

R. DAJOZ

Thomas J. GIVNISH (éditeur). — **On the economy of plant form and function.** Cambridge University Press éditeur. Un volume XIII + 717 pages paru en 1986. Prix : 55 livres sterling (relié). ISBN : 0-521-26296-8.

Des recherches récentes ont montré que diverses caractéristiques morphologiques, anatomiques et physiologiques des végétaux peuvent être contrôlées par les facteurs du milieu et soumis à la sélection. Parmi les caractères en jeu on peut citer : la dimension des feuilles, leur pouvoir réfléchissant, la conductance des stomates, la structure du pool enzymatique intervenant dans la photosynthèse, la structure du xylème, les mécanismes de fixation de l'azote, la balance entre le développement des racines et des parties aériennes Ces résultats montrent l'importance des facteurs écologiques dans le déterminisme de la morphologie végétale et de la physiologie

Ce livre, grâce à vingt articles dont chacun est dû à un spécialiste, explore les divers secteurs où des avancées récentes ont eu lieu dans ce domaine de l'écologie végétale. Il sera lu avec intérêt non seulement par les botanistes mais aussi par tous les biologistes. Certains chapitres sont particulièrement démonstratifs de cette nouvelle anatomie physiologie en liaison avec l'écologie, par exemple : ecological patterns of xylem anatomy, adaptations for water and thermal balance in Andean giant rosette plants ; evolution of plant life forms ; branching patterns and angles in trees ; biochemical constraints on crown geometry in forest herbs ; seaweeds in mowing water : form and mechanical function.

Voici à titre indicatif le sommaire complet de l'ouvrage.

PART 1. Economics of gas exchange

1. The photosynthesis-nitrogen relationship in wild plants.

2. Modifications of solar-radiation absorption patterns and implications for carnon gain at leaf leavel.

3. Form and orientation in relation to PAR interception by cacti and agaves.

4. Unusual strategies of light absorption in rain-forest herbs.

5. Economics of carbon fixation in higher plants

6. Optimal stomacal conductance, allocation of energy between leeves and roots, and the marginal cost of transpiration

7. Internal leaf structure : a three-dimensional perspective.

8. Competing root systems : morphology and models of absorption.

9. Belowground costs : hydraulic conductance.

10. Economy of symbiotic nitrogen fixation.

11. Ecological patterns of xylem anatomy.

12. Turgor maintenance in Hawaiian Dubautia species : the role of variation in tissue osmotic and elastic properties.

13. Adaptations for water and thermal balance in Andean giant rosette plants.

PART 2. Economics of support

14. Evolution of plant life forms.

15. Branching patterns and angles in trees.

16. Biomechemical constraints on crown geometry in forest trees

17. The roles of carbon balance and branching pattern in the growth of woody species.

18. Seaweeds in moving water : form and mechanical function.

19. Functional geometry fo seaweeds : ecological consequences of thallus layering and shape in contrasting light environments.

PART 3. Economics of biotic interactions

20. Costs of defense and their effects on plant productivity

R. DAJOZ

J.R. TRABALKA et D.E. REICHLE (éditeurs). — **The changing carbon cycle. A global analysis.** Springer éditeur, Berlin. Un volume XXVI + 592 pages paru en 1986. Prix 138 DM (relié). ISBN : 0-387-96211-5.

Ce livre contient un choix de communications qui ont été présentées à un congrès qui s'est tenu en 1983 à l'Oak Ridge National Laboratory aux Etats-Unis. Son but est de faire le point sur le cycle du carbone et sur les modifications importantes que les diverses activités humaines lui font subir, puis d'en évaluer les conséquences. Le premier chapitre présente les diverses stations qui, dans le monde entier, sont chargées de mesurer la teneur de l'atmosphère en gaz carbonique et donne un premier bilan. On apprend que de 1976 à 1983 la teneur moyenne en CO2 a augmenté de 332,1 à 342,6 ppm à la station de mesure du Mauna Loa (îles Hawai). Un ensemble de plusieurs chapitres est consacré à l'exposé des diverses méthodes employées pour estimer la teneur de l'atmosphère en CO2 et ses variations aux temps passés : analyse des glaces polaires, anneaux de croissance des arbres, étude de la modification des surfaces cultivées et de la déforestation, variations de la teneur du sol en matière organique, etc. Le rôle des océans dans le cycle global du carbone est analysé en détail, de même que l'importance des rejets actuels et passés de CO2 à partir des combustibles fossiles. Des estimations sont ensuite présentées pour une période qui va jusqu'en 2075, aussi bien en ce qui concerne la consommation de combustibles fossiles qu'en ce qui concerne les variations de la teneur de l'atmosphère en CO2 selon diverses hypothèses. Les effets possibles (effet de serre) sont envisagés ainsi que les changements possibles dans l'emploi des combustibles fossiles pour limiter les atteintes à l'environnement. Ce livre apporte sur un sujet important des données actualisées et il sera très utile à tous ceux que préoccupent les atteintes toujours plus graves qui sont portées à l'environnement.

R. DAJOZ

Harry C. TORNO, Jiri MARSALEK, Michel DESBORDES (éditeurs). — **Urban runoff pollution.** Springer éditeur, Berlin, Collection NATO ASI series, series G : ecological sciences, vol. 10. Un volume X + 893 pages paru en 1986. Prix : 290 DM (relié). ISBN : 3-540-16090-6.

Ce volume réunit les communications qui ont été présentées à un congrès qui s'est tenu à Montpellier en 1985 sous l'égide de l'OTAN. Comme tous les ouvrages de la même collection il est très technique et hautement spécialisé mais il intéressera certainement tous ceux qui s'occupent des pollutions d'origine urbaine affectant les eaux. L'accent est mis d'une part sur la nature et sur l'importance de ces pollutions, d'autre part sur les méthodes qui permettent de rendre aux eaux une qualité acceptable.

R. DAJOZ

J.A.J. METZ et O. DIEKMANN (éditeurs). — **The dynamics of physiologically structured populations.** Springer éditeur, Berlin ; collection «Lectures notes in biomathematics», vol 68. Un volume XII + 511 pages paru en 1986. Prix : 90 DM (proche). ISBN : 3-540-16786-2.

Il s'agit de la présentation de divers modèles mathématiques pouvant s'appliquer à des populations présentant des caractéristiques physiologiques ou écologiques bien déterminées. Cet ouvrage intéressera le biomathématicien et le modélisateur. Certains modèles présentés sont classiques ; d'autres sont originaux.

Douglas J. FUTUYMA. — **Evolutionary biology.** Second edition. Sinauer associated éditeur, Sunderland, Massachusetts et Blackwell scientific publications, Oxford. Un volume 599 pages paru en 1986. Prix : 29,50 livres sterling (relié). ISBN : 0-8793-188-0.

Ce livre qui est consacré aux divers aspects de la biologie évolutive mérite d'être signalé bien qu'il ne soit pas uniquement écologique. Il est en effet fort bien fait et il représente pour divers sujets, une très bonne synthèse qui sera certainement très utile aux étudiants et aux enseignants. Les sujets traités sont les suivants :

1. Le contexte écologique des changements évolutifs.
2. L'hérédité
3. La variation.
4. La structure des populations et la dérive génétique
5. Les conséquences de la sélection naturelle sur les fréquences des gènes.
6. La sélection portant sur les caractères poolygéniques.
7. La spéciation.
8. L'adaptation
9. Comment connaître l'histoire de l'évolution (avec dans ce chapitre un exposé simple et claire des méthodes de la systématique phylogénétique selon Hennig).
10. La diversité biologique
11. La biogéographie.
12. L'origine des nouveautés évolutives.
13. L'évolution au niveau moléculaire.
14. Interactions entre espèces et évolution.
15. L'évolution de l'espèce humaine.

Jorgen KRISTIANSEN et Robert A. ANDERSEN (éditeurs). — **Chrysophytes. Aspects and problems.** Cambridge University Press. Un volume XIV + 337 pages paru en 1986. Prix 37,60 livres sterling (relié). ISBN : 0-521-32090p9.

Ouvrage collectif consacré aux algues du groupe des Chrysophycées. On y trouve des données sur l'ultrastructure, sur la systématique, la biologie cellulaire. Une partie importante du livre est consacrée à la dynamique des populations, à l'écologie et à la biogéographie, à la paléobiologie.

R. DAJOZ

SOCIÉTÉ D'ÉCOLOGIE

VIE DE LA SOCIÉTÉ

COMPTE-RENDU DE L'ASSEMBLÉE GÉNÉRALE 1986, PARIS, 30 JANVIER 1987

L'Assemblée générale s'est tenue le 30 janvier 1987, à l'Institut Océanographique, de 14 h à 15 h. 31 membres sont présents.

La séance est ouverte par le Président, M. LAMOTTE, qui passe ensuite la parole au Secrétaire Général pour la proclamation du Prix de la Société d'Écologie. Celui-ci est attribué à M. Patrick SILAN, qui recevra une somme de 1.000 F et bénéficiera du service gratuit du BULLETIN D'ÉCOLOGIE pendant 3 ans.

Monsieur Patrick SILAN est né le 22 décembre 1956. Il a commencé ses études supérieures à Lyon où déjà jeune étudiant il a participé aux activités des ornithologistes de la région.

Venu à Marseille pour une Maîtrise d'Océanographie, il a travaillé dans l'équipe de F. BLANC pour un mémoire de maîtrise

Les circonstances l'ont amené à suivre le D.E.A. de Parasitologie à Montpellier, mais en restant dans le domaine marin puisque son travail de stage portait sur les Monogènes parasites du Bar.

Excellent étudiant, reçu second de sa promotion, il a bénéficié d'une allocation de Recherche pour poursuivre ses études

La thèse qu'il a réalisée est un excellent travail d'écologie parasitaire.

Le problème posé était celui du partage de l'espace branchial du Bar *Dicentrarchus labrax* par deux espèces congénériques de Monogènes spécifiques : *Diplectanum aequans* et *D. laubieri*.

Les idées avancées pour expliquer l'organisation des peuplements des ectoparasites branchiaux et la localisation des parasites en général, sont controversées.

L'intérêt du travail réside dans le fait que Monsieur SILAN a pu travailler dans trois situations différentes : le milieu naturel, les élevages intensifs en cage et en bassin, les bacs expérimentaux.

Au cours de cette recherche, il est parvenu à intégrer deux variables (qui n'avaient pas été prises en compte jusqu'alors), la surface branchiale et la densité des populations des deux Monogènes.

Les résultats obtenus, soumis à une analyse détaillée par des techniques mathématiques, ont permis de comprendre la dynamique des populations parasitaires et les causes de leur localisation branchiale. Ces résultats apportent des réponses aux problèmes généraux posés par les modèles hôte-parasite.

Le résumé de cette thèse a paru dans le Bulletin d'Ecologie (Vol. 15, fascicule 4).

Pendant sa thèse, Monsieur SILAN a effectué un séjour en Polynésie française pour aborder la question des nombreux Monogènes parasites branchiaux des Poissons récifaux.

En 1986, il séjourne au Japon pour étudier la dynamique des populations des Poissons d'élevage et reprendre, avec les Poissons récifaux des Iles méridionales du Japon, les problèmes de parasitisme abordés en Polynésie. Il s'agit d'une bourse post-doctorale CNRS-JSPS (Japan Society for the promotion of Science).

Outre ses indéniables qualités de chercheur, Monsieur Patrick SILAN est un véritable naturaliste. Pendant son séjour à Montpellier, il a participé à la création du Groupe de Recherche et d'Information sur les Vertébrés (G.R.I.V.E.). Sous sa présidence, cette société, très active, a organisé à Montpellier une réunion d'Ornithologie qui a été un succès.

Le Président donne ensuite la parole à M. PESSON pour la proclamation du Prix SAUVAGE, qui est décerné à François RAMADE, Professeur titulaire à l'Université de Paris-Sud (centre d'Orsay), Directeur du Laboratoire d'Ecologie et Zoologie.

François RAMADE est bien connu de tous les membres de notre Société, puisqu'il en est membre depuis l'origine (1969) et qu'il siégea à notre Conseil de 1977 à 1985, cependant il convient aujourd'hui d'en rappeler sommairement la carrière universitaire et l'oeuvre scientifique.

Né à Marseille en 1934, Ingénieur agronome (Montpellier 1957), il débute sa carrière d'enseignant et de chercheur comme assistant au laboratoire de Zoologie de l'Institut National Agronomique en 1958. Il présente sa thèse de Doctorat ès Sciences en 1968 ; «Contribution à l'étude du mode d'action de certains insecticides de synthèse, plus particulièrement du lindane et des phénomènes de résistance à ces composés, chez *Musca domestica* L.». Il entre à l'Université d'Orsay en 1969 et dès lors ne cessera de s'intéresser aux problèmes de l'écotoxicologie des pesticides, orientant aujourd'hui son équipe de recherche sur les effets de ces polluants sur les biocénoses des milieux aquatiques. Membre du Comité National du Piren, il y est responsable du programme «Ecotoxicologie» et, dans le cadre du Ministère de l'Environnement, il est membre de la Commission «Evaluation de l'écotoxicité des substances chimiques».

Naturaliste et entomologiste (1), François RAMADE s'est toujours préoccupé des problèmes de la Protection de la Faune, de la Flore et des Milieux. Il est d'ailleurs Président d'honneur de la Fédération Française des Sociétés de Protection de la Nature. Mais surtout il est un des 7 membres du bureau de l'«Union Internationale de Conservation de la Nature» (U.I.C.N.) élu en 1981, réélu en 1984 ; il siége en outre au Comité Directeur de la Commission d'Ecologie de l'U.I.C.N.

Cette marque d'estime au niveau international, Fr. RAMADE la doit en partie au fait que certains de ses ouvrages fondamentaux d'Écologie ont été traduits et édités aux U.S.A. et en Russie. Ce sont

— Éléments d'Écologie : Écologie appliquée. Ediscience 1974, Mc Graw Hill 1982, traduit en russe 1983

— Écotoxicologie. Ed. Masson 1977, traduit en russe 1980.

— Écologie des ressources naturelles. Ed Masson 1981, Ed. Wiley 1983.

— Éléments d'Écologie : Écologie fondamentale. Mc Gray Hill, 1984

(1) Son premier livre : «Les fourmis» P.U.F., 1965, coll «Que sais-je ?»

Enfin Fr. RAMADE nous annonce aujourd'hui sous presse aux Éditions Mc Graw Hill, un dernier ouvrage particulièrement d'actualité : «Les catastrophes écologiques».

Par ses ouvrages scientifiques, par l'originalité des recherches poursuivies en écotoxicologie, par son rôle important comme conseiller scientifique dans les organismes nationaux et internationaux, Fr. RAMADE a contribué de façon exemplaire au renom de l'écologie française

La Société d'Écologie lui en rend aujourd'hui hommage.

Par acclamation, l'Assemblée générale donne son approbation au choix du Conseil.

Le Président donne ensuite la parole au Secrétaire Général, M. BLANDIN, pour la présentation du rapport moral, dont le texte intégral est reproduit ci-dessous

RAPPORT MORAL
(le Secrétaire Général)

Chers Collègues,

Avant de dresser un rapide bilan des activités de notre Société au cours de 1986, je tiens à dire d'emblée que ces activités sont le fruit d'un travail d'équipe. Que les membres du Conseil en soient remerciés, eux qui, dans nos réunions et plus encore sur le terrain, contribuent au dynamisme de la Société d'Écologie.

LES ACTIVITÉS EN 1986

1) LES COLLOQUES

Notre Société a été impliquée dans quatre réunions importantes. La première a été organisée en janvier 1986, conjointement avec la Société de Biogéographie et la Société Zoologique de France. Elle a eu pour thème . «La notion de vicariance : aspects biogéographiques et écologiques», Monsieur PESSON en a été Maître d'oeuvre au nom de la Société d'Écologie. Les Actes de ce Colloque ont été rapidement publiés dans le BULLETIN D'ÉCOLOGIE.

Une seconde réunion (juillet 1986), correspondait aux Journées de la Société Zoologique de France ; la Société de Biogéographie et la Société d'Écologie y ont été associées. Notre Président en a assuré l'organisation Ce colloque a été consacré aux «Caractéristiques écologiques et évolutives des peuplements insulaires». Les Actes en seront publiés par les soins de la Société Zoologique

Ce deux réunions manifestent la volonté de la Société d'Écologie de tisser des liens avec les autres Sociétés scientifiques à propos de thèmes d'intérêt commun. Cette pohtique devra certainement être développée à l'avenir

L'un des temps forts de l'année a été le Colloque de Marseille (juin 1986) organisé avec la Società Italiana di Ecologia sur le thème ' «Ecologie littorale méditerranéenne : interrelations des milieux marins et terrestres. Mieux connaître pour mieux gérer». Notre collègue Gerard BELLAN en a été l'organisateur efficace. Je puis témoigner personnellement du succès de ce colloque, qui a été suivi par près de 100 personnes, avec une représentation équilibrée des deux pays et la participation de quelques collègues espagnols Ce succès a été double : non seulement le colloque a été en lui-même une réussite, dans le contenu comme dans la forme, mais en outre il a réellement permis de renforcer les liens avec nos collègues italiens : certains d'entre eux sont devenus membres de notre Société ; des collaborations ont été ébauchées et devraient se développer ; les deux Sociétés vont poursuivre leurs échanges, je l'espère dès 1987 De tout cela, nous pouvons chaleureusement remercier Monsieur BELLAN, artisan de cette réussite

Enfin l'année a été marquée par la mise en route effective du Groupe d'Écologie du Sol, grâce à l'action de Monsieur LOSSAINT. Ce groupe a tenu à Paimpont, en novembre 1986, un colloque organisé par MM. LAVELLE, LEPAGE et TREHEN, sur le thème «Fonctionnement du sol et systèmes interactifs». Avec 120 participants et plus de 50 communications, cette réunion a été elle aussi une réussite Il faut en féliciter les promoteurs et les organisateurs : grâce à eux, le groupe d'Écologie du Sol débute sous les meilleurs auspices.

2) LE DÉVELOPPEMENT DE LA SOCIÉTÉ

L'efficacité de la Société d'Écologie dans son action pour la promotion de notre discipline dépend de sa représentativité. Aussi est-ce un souci constant du Bureau que de travailler à accroître le nombre des membres de la Société. En 1986, un petit déplant présentant la Société a été diffusé à environ 2.000 exemplaires. En outre les membres de la Société ont été invités à pousser leurs collègues à adhérer et à s'abonner au BULLETIN D'ÉCOLOGIE. Voici la situation actuelle, par comparaison avec celle de janvier 1986 :

	janvier 1986	janvier 1987
Membres non abonnés	148	204
Membres abonnés	313	331
TOTAL	461	535
Laboratoires abonnés .	181	187

Une progression sensible a donc été obtenue, qui a plus que compensé la démission ou le radiation de 20 membres. Il faut souligner que cette progression est due pour une bonne part à la constitution du Groupe d'Écologie du Sol, ce qui signifie que le rendement immédiat des opérations «publicitaires» est maigré tout assez faible. Il faut aussi constater que la progression est nettement plus forte pour les simples adhérents (plus de 35 %) que pour les membres abonnés au BULLETIN D'ÉCOLOGIE (moins de 6 %). Dans un contexte difficile pour les associations scientifiques, il faut néanmoins se féliciter de ces résultats, qui encouragent le Conseil et le Bureau à poursuivre leur action

1) BILAN DU BULLETIN D'ÉCOLOGIE

Les quatre fascicules du tome 17 ont été publiés pratiquement sans retard. Le quatrième aurait même dû être distribué fin décembre si les circonstances avaient été normales

Comme les années précédentes, un peu plus de 300 pages ont été produites, contenant 17 articles, dont ceux du colloque sur la vicariance, 3 tribunes et le texte d'un rapport de synthèse sur les bioindicateurs, publié avec une participation financière du Ministère de l'Environnement.

Au cours de 1986, la rédaction a reçu 25 articles, contre 22 en 1985 et 20 en 1984, ceci en dehors des articles correspondant à des colloques. Sur ces 25 articles, 7 ont été refusés ou ont fait l'objet d'une demande de profonds remaniements, et presqu'aucun n'a été accepté tel quel. Je profite de cette occasion pour remercier les 30 lecteurs qui nous ont aidé cette année à assurer la qualité du BULLETIN.

Celui-ci est actuellement reçu dans 112 laboratoires français et dans 75 laboratoires étrangers. Il est répertorié et analysé dans les publications bibliographiques du CNRS ainsi que dans les *Current Advances in Ecological Sciences*. C'est là une situation déjà solide, mais il reste encore beaucoup à faire pour que notre publication soit plus largement diffusée et reconnue

Si ce problème est avant tout scientifique, il n'en présente pas moins une dimension financière. La situation s'est considérablement améliorée depuis que les coûts de fabrication ont été réduits par le choix de l'entreprise COMPO-SCIENCE, mais les abonnements et ventes ne couvrent pas encore le déficit de ces coûts. Le déficit sera de l'ordre de 25.000 F TTC en 1986, et ne sera compensé que grâce à la participation financière du Ministère de l'Environnement pour le fascicule 4 sur les bioindicateurs (47.000 F TTC). On ne peut cependant tabler sur des financements occasionnels pour mener une saine politique de gestion. Il est donc nécessaire d'obtenir un accroissement du nombre d'abonnés, non seulement pour couvrir le déficit, mais, mieux, pour nous donner la possibilité de publier davantage de pages ; il faut en effet souhaiter l'augmentation du flux d'articles de

qualité soumis au BULLETIN.

Dans ce contexte, je me permets de souligner que plus de 200 membres de la Société sont seulement cotisants. Ils contribuent ainsi à couvrir une partie des frais de fonctionnement et reçoivent en retour les pages «Vie de la Société». Si une majorité d'entre eux s'abonnait au BULLETIN, nos problèmes financiers seraient en passe d'être résolus. En outre, l'indépendance de la Société en serait accrue

A ce sujet, je signale qu'aucune subvention du Ministère de l'Environnement n'étant attendue pour 1987, la mention faite en couverture d'un soutien de ce Ministère sera supprimée.

4) PERSPECTIVES

Bien qu'un rapport moral ait pour objet de dresser un bilan de l'année écoulée, je ne saurais conclure sans vous donner quelques informations sur les perspectives d'action à court et moyen terme.

En ce qui concerne le BULLETIN D'ÉCOLOGIE, le fascicule 1 est à la composition et sortira à la mi-mai. Le fascicule 2 contiendra les Actes du Colloque de Marseille. Les manuscrits sont pratiquement prêts et seront prochainement envoyés à la composition, en vue d'une parution fin avril-début mai. Ce fascicule devrait faire l'objet de subventions de la Région Provence-Alpes-Côtes-d'Azur et de la Région Languedoc-Roussillon, grâce aux actions menées par MM. BELLAN et AMANIEU. La matière du fascicule 3 est réunie à 75 %. Les articles attendus des auteurs après remaniement permettront de compléter ce fascicule et de constituer déjà une bonne partie du fascicule 4. Celui-ci pourra être complété par les textes des conférences des présentes journées.

Le colloque de Bordeaux (mai 1987) que l'Association Française des Ingénieurs Écologues organise avec notre collaboration devrait être un succès. De nombreuses propositions de communications nous sont parvenues ; elles ont posé de difficiles problèmes au Comité de Sélection formé avec des membres de l'A.F.I.E. et du Conseil de la Société d'Écologie.

La Società Italiana di Ecologia doit nous contacter prochainement pour organiser une journée franco-italienne dans le cadre de son colloque annuel (Sienne, 21-14 octobre 1987). Le thème en sera choisi en commun.

Par ailleurs, le prochain Congrès Européen d'Écologie sera organisé en 1989 par nos collègues italiens. Le Bureau de la Société d'Écologie sera représenté dans le Comité international, conformément à un vif souhait des autres Associations nationales.

Enfin, certains membres du Conseil vont maintenant travailler le projet de Colloque International Francophone d'Écologie, dont le Conseil a approuvé le principe.

En dehors de ces projets concernant l'ensemble de la Société, il importe de mentionner ceux du Groupe d'Écologie du Sol. Celui-ci organisera son prochain colloque à Lyon en 1988

Ceci m'amène pour conclure à formuler un souhait. Je pense qu'il serait bon que d'autres groupes thématiques se constituent et je crois que le Conseil examinerait avec beaucoup d'intérêt toutes les propositions qui lui seraient soumises. Que ceci soit une invitation à travailler en commun au développement de l'Écologie en France.

L'Assemblée Générale approuve le rapport moral à l'unanimité.

Le Président prie ensuite l'Assemblée d'excuser le Trésorier, M. de BEAUFORT, empêché, et donne la parole à M. GUYETANT, Trésorier Adjoint, pour la présentation du rapport financier préparé par le Trésorier. Madame BELLAN et Monsieur ELKAIM acceptent la charge de Commissaires aux comptes.

RAPPORT FINANCIER

Depuis le dernier exercice, on a noté un accroissement sensible du nombre d'abonnés et d'adhérents, et on peut constater néanmoins que notre Bulletin est toujours en net déficit d'exploitation. Pour environ 1/5 le déficit s'explique par le fait que le nombre de pages servi aux abonnés a dépassé ce qui est dû aux abonnés ; pour les 4/5, il devrait être compensé par un nombre plus grands d'abonnés, comme il a souvent été dit. Il faut noter que cette dernière part du déficit a été avantageusement équilibrée par les revenus des placements en SICAV. Sachons aussi que ces placements à court terme vont désormais voir se ralentir leur valorisation.

Nous bénéficions aussi d'une autre forme de compensation quand un des numéros est réalisé sous contrat ou avec une subvention : cas du N°4 sur les bioindicateurs réalisé par P. BLANDIN.

Dernière observation : notre capital est à peu près maintenu à sa valeur.

Le rapport est examiné et approuvé par les Commissaires aux comptes, puis adopté par l'Assemblée Générale

L'ordre du jour étant épuisé, le Président lève la séance à 15 H

SOCIÉTÉ D'ÉCOLOGIE

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DU 30 JANVIER 1987

RAPPORT FINANCIER

Comptes du 01.01.1986 au 31.12.1986

COMPTE-COURANT C.C.P.

RECETTES

Abonnements et ventes	125 018,76 F
Cotisations	20 715,00 F
Colloque	12 110 00 F
Remboursement T.V.A.	50.000,00 F
Total Recettes	218.256,76 F
Avoir C.C.P. au 01.01.86	45.553,27 F
TOTAL	263.810,03 F

DÉPENSES

Bulletin	161.468,01 F
Secrétariat . personnel	42 820,86 F
fournitures et frais d'expédition	15.215,57 F
Colloque	2 586,00 F
Cotisation Intecol	224,00 F
Frais bancaires	9,00 F
Médailles «Prix de la Société»	700,00 F
Total Dépenses	223 023,44 F
Avoir C.C.P. au 31.12 86	40.786,59 F
Total	263.810,03 F

COMPTE-COURANT B.N.P.

Solde créditeur au 31.12 86 ..... 1.535,19 F

Portefeuille de SICAV Natio-Associations

Valeur du capital au 21.12.86 ..... 249.940,86 F

Le Trésorier — F. de BEAUFORT

Les Commissaires aux comptes — Mme BELLAN — M. ELKAIM

Directeur de la publication P BLANDIN
Fabrication : COMPO-SCIENCE - 34270 Les Matelles
Commission Paritaire 60062

INSTRUCTIONS AUX AUTEURS

La *Bulletin d'Écologie* se réserve que les articles des numéros de la Société d'Écologie publiés dans cette revue soient en règle avec la présente notice. Pour les articles suivis par le comité de lecture.

Les manuscrits originaux sont à envoyer à la rédaction (envoyer toujours le texte complet et non pas des parties) ; ils doivent être dactylographiés sur papier de format 21 × 29,7 cm, double interligne et marge de 3 centimètres. Ils comprennent une page de titre comprenant le titre, le(s) nom(s) et prénom(s) de l'auteur(s), l'adresse complète de l'auteur, le numéro de téléphone, le numéro de fax et l'adresse électronique.

Le titre,

Le nom de l'auteur (ou des auteurs) avec leur(s) prénom(s),

L'adresse complète,

Le résumé en français et en anglais, d'une longueur de 10 lignes maximum, qui présente les objectifs, la méthodologie et les résultats de l'article,

Les mots-clés : trois mots ou plus séparés par des virgules, de préférence différents de ceux déjà présents dans le titre,

Une proposition de titre courant (ou titre abrégé) pour impression en tête de pages.

Le titre, les noms et prénoms des auteurs, leurs coordonnées et le résumé doivent être traduits en anglais. Le résumé, qui présente les principaux résultats et conclusions, doit être compréhensible à lui seul. Il ne doit jamais faire référence à l'article lui-même. Il ne doit pas contenir de références bibliographiques. Il doit être rédigé en un seul paragraphe.

Les manuscrits doivent être rédigés de façon claire et concise. Ils doivent être divisés en parties numérotées (1, 2, 3, etc.) et sous-parties (1.1, 1.2, 2.1, 2.2, etc.). Les titres de ces parties et sous-parties doivent être courts. Les différents niveaux de titres doivent être clairement différenciés. Les titres de parties et sous-parties ne doivent pas être soulignés. Les mots ou groupes de mots à mettre en valeur doivent être mis en italiques. Les abréviations doivent être définies à la première utilisation.

Les références bibliographiques doivent être citées dans le texte par le nom de l'auteur et l'année de publication. Les références multiples sont classées par ordre chronologique.

Les notes de bas de page doivent être limitées au minimum. Elles ne sont pas autorisées dans la bibliographie. Elles doivent être numérotées de façon continue dans l'article.

Les auteurs trouveront, en outre dans l'éprouvé de leurs manuscrits, différentes notes concernant à la rédaction dans les colonnes de notre revue, accompagnées de la demande de leurs corrections. Veuillez particulièrement à ce que ces notes soient bien prises en compte. Si vous souhaitez une autre présentation, veuillez nous en faire part. Le manuscrit sera alors renvoyé à l'auteur pour corrections. Si vous souhaitez une autre présentation, veuillez nous en faire part. Le manuscrit sera alors renvoyé à l'auteur pour corrections. Si vous souhaitez une autre présentation, veuillez nous en faire part. Le manuscrit sera alors renvoyé à l'auteur pour corrections.

Les résumés du présent numéro sont disponibles sur le site de la Société d'Écologie.

Tous les manuscrits qui ne correspondent pas aux normes indiquées ci-dessus seront retournés à leurs auteurs.

SOCIÉTÉ D'ÉCOLOGIE

C/O Sébastien Paulet-Pitet
57, rue Cuvier
75231 PARIS Cedex 05
Tél. 210.84.22

C.C.P. 20 378 67 D LA POSTE

TARIF D'ABONNEMENT POUR 1987

PARTICULIERS :	Cotisation	Abonnement	Total
FRANCE ET C.E.E.	90 F	210 F	300 F
AUTRES PAYS	90 F	210 F	300 F
Étudiants et Stagiaires	50 F		50 F
Étudiants en France	50 F		50 F

COLLECTIVITÉS

Le Directeur de la Publication : P. BLANDIN

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés réservés pour tous pays

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, «toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou des ayants-droits ou ayants-cause, est illicite» (alinéa 1er de l'article 40).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

Photocomposition-Maquettisme, Ch. LHÉRITIER - **COMPO-SCIENCE**, 34270 Les Matelles
Impression **TECHNIC-OFFSET** — *Imprimé en France.*
Numéro d'inscription à la Commission Paritaire : 50062

INSTRUCTIONS AUX AUTEURS

Le **Bulletin d'Ecologie** ne publie que les travaux des membres de la Société d'Ecologie ; seuls les manuscrits des auteurs en règle avec le trésorier seront examinés. Tous les articles seront soumis à un comité de lecture.

Les manuscrits, soignés dans le fond et dans la forme, seront fournis en **trois exemplaires** sous leur forme définitive ; ils devront être **entièrement dactylographiés** au recto de feuilles 21 × 29,7 avec double interligne et marge de 5 centimètres. Ils devront être préparés en tenant compte de la présentation générale du **Bulletin d'Ecologie**. Ils devront comprendre, dans l'ordre :

Le titre;

Le nom de l'auteur (ou des auteurs) avec le prénom en entier ;

L'adresse complète ;

Le résumé en français et le summary en anglais, d'une dizaine de ligne chacun au maximum. Les résumés devront indiquer s'il s'agit d'une mise au point ou d'un travail original, et dans ce dernier cas contenir les principaux résultats nouveaux qui seront apportés ;

La traduction en anglais du titre de l'article ;

Les mots-clés : liste succinte de mots significatifs ;

Une proposition de «titre courant» ne dépassant pas une quarantaine de signes ;

Le texte proprement dit avec mise en évidence des sous-titres et paragraphes et la mention dans la marge, au crayon, des passages qui peuvent être composés en petits caractères. Aucune autre indication typographique ne devra être mentionnée à l'exception des noms latins des organismes qui seront soulignés d'un trait et de ceux des auteurs qui seront soulignés de deux traits.

Les tableaux devront être présentés dactylographiés d'une façon correcte afin de pouvoir être clichés directement par l'imprimeur. Ils seront numérotés de 1 à n (en chiffres romains) et munis chacun d'une légende. Les légendes des tableaux seront dactylographiées sur des feuilles distinctes, à la suite.

L'illustration, numérotée de 1 à n devra être conçue en tenant compte du format du **Bulletin d'Ecologie**. Les dessins originaux seront fournis (et non des photocopies). Les illustrations ne devront pas dépasser le format 40 × 30 cm et être envoyées à plat, non enroulées. La réduction souhaitée sera indiquée au crayon. Les photographies seront numérotées et légendées avec les figures. Les légendes de toutes les figures seront dactylographiées à la suite sur des feuilles séparées.

La bibliographie sera présentée conformément au modèle que l'on peut trouver dans le **Bulletin d'Ecologie**. Les titres des revues et les titres des livres ou des thèses seront soulignés d'un trait.

Les auteurs recevront un seul jeu d'épreuves pour correction. Elles devront être retournées à la rédaction dans un délai de huit jours, accompagnées de la demande de tirés-à-part. **Aucune correction d'auteur ne sera acceptée**. Seules les erreurs typographiques devront être corrigées. Toute modification (ou addition) sera facturée à l'auteur. Si les épreuves ne sont pas retournées dans les délais impartis elles seront corrigées par les soins de la rédaction, ou bien la parution de l'article sera retardée.

Les résumés de thèses devront être dactylographiés selon une présentation que les auteurs peuvent connaître en consultant le **Bulletin d'Ecologie**.

Tous les manuscrits qui ne répondront pas aux normes indiquées ci-dessus seront retournés à leurs auteurs.

SOCIÉTÉ D'ÉCOLOGIE

C/O Secrétariat Faune-Flore
57, rue Cuvier
75231 PARIS CEDEX
Tél. 336.54.22

C.C.P. 30 279 62 D LA SOURCE

TARIF D'ABONNEMENT POUR 1987

PARTICULIERS :	Cotisation	Abonnement	Total
FRANCE ET C.E.E.	60 F	210 F	270 F
AUTRES PAYS	60 F	275 F	335 F
Étudiants et Stagiaires étrangers en France	30 F	100 F	130 F
COLLECTIVITÉS :	H.T.	T.V.A. 4 %	T.T.C.
FRANCE	423,08 F	16,92 F	440 F
Agence et Libraires (remise 10 %)	380,77 F	15,28 F	396 F
ÉTRANGER	442,31 F	17,69 F	460 F
Agences et Libraires (remise 10 %)	398,08 F	15,92 F	414 F

IMPORTANT : *Toutes les cotisations doivent être payées directement et de façon impersonnelle à la* ***SOCIÉTÉ D'ÉCOLOGIE.***

20 AOUT 1987